

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования


УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

ИНСТИТУТ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК И МАТЕМАТИКИ  
Департамент наук о земле и космосе

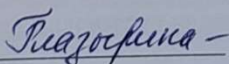
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ КОМПОСТИРОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОЙ  
ФРАКЦИИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ НА ТЕРРИТОРИИ  
ВОСТОЧНОГО АДМИНИСТРАТИВНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ  
СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Направление подготовки 05.04.06 Экология и природопользование  
Образовательная программа «Экологический мониторинг»

Директор департамента:  
к. б. н., доц. Т. А. Радченко

  
\_\_\_\_\_

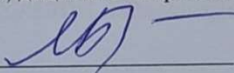
Нормоконтролер:  
к. б. н., с. н. с., доц. М. А. Глазырина

  
\_\_\_\_\_

Магистерская диссертация  
**Махневой**

**Нины Витальевны**

Научный руководитель:  
к. э. н., доц. М. В. Березюк

  
\_\_\_\_\_

Екатеринбург

2024

## РЕФЕРАТ

Тема магистерской диссертации: «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ КОМПСТИРОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОЙ ФРАКЦИИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО АДМИНИСТРАТИВНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ».

Общий объем ВКР (магистерской диссертации) – 54 страницы. Работа включает 5 таблиц, 7 формул, 11 рисунков и 1 приложение.

Ключевые слова: ТВЕРДЫЕ КОММУНАЛЬНЫЕ ОТХОДЫ, КОМПСТИРОВАНИЕ, ЭКОЛОГИЯ, УТИЛИЗАЦИЯ, ОПТИМИЗАЦИЯ, ТЕХНОГРУНТ.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью снижения объемов захоронения твердых коммунальных отходов и сокращения негативного воздействия полигонов ТБО на окружающую среду. Утилизация органики методом компстирования не только поможет уменьшить количество захараниваемых отходов и значительно снизить выбросы парниковых газов в атмосферу, но и даст возможность получения технического грунта с низкой себестоимостью.

Цель исследования – Определение эколого-экономической эффективности применения технологии компстирования органической фракции твердых коммунальных отходов на примере предприятия ЕМУП «Спецавтобаза» по АПО-3.

Предмет исследования – система обращения с ТКО.

Объект исследования – применение технологии компстирования органической фракции твердых коммунальных отходов.

В первом разделе магистерской диссертации «Обзор литературы» рассматривается опыт обращения с твердыми коммунальными отходами в России и за рубежом, выделяются актуальные проблемы.

Во втором разделе «Способы и методы теоретических и аналитических исследований» рассматривается структура предприятия ЕМУП «Спецавтобаза» как Регионального оператора по обращению с отходами в Восточном административно-производственном объединении Свердловской области.

В третьем разделе «Результаты и из обсуждения» дается эколого-экономическая оценка внедрения технологии компстирования в процесс обращения с отходами на примере предприятия ЕМУП «Спецавтобаза», действующем на территории АПО-3 Свердловской области.

## ABSTRACT

The theme of the Master's thesis: «DETERMINATION OF ECOLOGICAL-ECONOMIC EFFICIENCY OF APPLICATION OF COMPOSTING TECHNOLOGY OF SOLID MUNICIPAL WASTE IN THE EASTERN ADMINISTRATIVE-PRODUCTION ASSOCIATION OF SVERDLOVSK REGION».

The total volume of VCR (master's thesis) – 54 pages. The work includes 5 tables, 7 formulas, 11 drawings and 1 application.

Keywords: SOLID MUNICIPAL WASTE, COMPOSTING, ECOLOGY, RECYCLING, OPTIMIZATION, TECHNOGRUNT.

The urgency of the study is due to the need to reduce the volume of solid municipal waste disposal and reduce the negative impact of landfills TBT on the environment. Composting recovery of organic matter will not only help to reduce the amount of sewage and to significantly reduce greenhouse gas emissions into the atmosphere but will also provide low-cost technical soil.

The purpose of the study is to determine the ecological and economic efficiency of the application of the composting technology of the organic fraction of solid municipal waste using the example of the enterprise EMUP «Special Vehicle Base» by APO-3.

The object of research is the system of handling TK.

The object of research is application of composting technology of organic fraction of solid municipal waste.

The first chapter of the master's thesis «The current situation in the field of solid municipal waste management» examines the experience with solid municipal waste management in Russia and abroad, highlighting actual problems.

In the second chapter «Analysis of the current waste management system at the enterprise EMBU «Special Vehicle Base» by APO-3» the structure of the enterprise EMBU «Special Vehicle Base» as the Regional Operator for Waste Management in the Eastern Administrative and production association of the Sverdlovsk region.

In the third chapter «Calculation of ecological and economic efficiency of application of the composting technology of the organic fraction of solid municipal waste on the example of the enterprise EMBU «Special Auto Base» on APO-3» environmental-ecological-Economic evaluation of the introduction of composting technology in waste management.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

ИНСТИТУТ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК И МАТЕМАТИКИ

Департамент наук о земле и космосе

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель образовательной программы

 (Кучасова О.А.)

« 12 » 02 2024 г.

Код, наименование направления: 05.04.06

Наименование программы: экология и природопользование

Группа: МЕНМ 220501

### ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

Студента: Махневой Нины Витальевны


(Фамилия, имя, отчество)

Квалификация: магистр

(бакалавр, специалист, магистр)

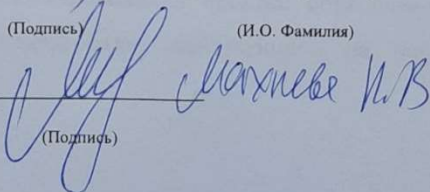
Провести научное исследование по теме: Определение эколого-экономической эффективности применения технологии компостирования органической фракции твердых коммунальных отходов на территории Восточного административно-производственного объединения Свердловской области

Срок представления работы научному руководителю: « 20 » 05 2024 г.

Научный руководитель  (М. В. Березюк)

(Подпись)

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению 

(Подпись)

## ОТЗЫВ

руководителя магистерской диссертации

Магистерская диссертация выполнена на тему Определение эколого-экономической эффективности применения технологии компостирования органической фракции твёрдых коммунальных отходов на территории Восточного административно-производственного объединения Свердловской области

Студентом Махневой Ниной Витальевной группы МЕНМ 220501

Направление (специальность): Экология и природопользование

Образовательная программа: Экологический мониторинг

Руководитель: Ф.И.О., ученая степень, ученое звание (должность)

Березюк Мария Викторовна, к.э.н., доцент

Подготовленная магистерская диссертация соответствует всем требованиям ФГОС ВО.

**Отмеченные достоинства:** Работа выполнена самостоятельно. Степень проявленного творчества и прилежания была очень высокой. Хочется отметить большую работоспособность, умение концентрироваться и выполнять поставленную задачу в сжатые сроки. Студент умеет самостоятельно осваивать новые методики и методы исследований и эффективно применять их в своей работе. Уровень специальной подготовки студентки высокий и достаточен для получения соответствующей квалификации.

**Отмеченные недостатки:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Дополнительная информация для ГЭК: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**Заключение.** Выполненная работа является самостоятельным, законченным исследованием, достойным представления перед ГЭК.

Студент (Ф.И.О.) Махнева Нина Витальевна

заслуживает присуждения степени **магистр** по направлению **код направления «название направления»**.

Руководитель: \_\_\_\_\_

(подпись)

«28» мая 2024 г.



# РЕЦЕНЗИЯ

на выпускную квалификационную работу (уровень магистратуры)

1. Соискатель квалификации магистра – магистрант Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Махнева Нина Витальевна

(фамилия, имя, отчество)

представила на рецензию выпускную квалификационную работу (ВКР (м)) на тему: Определение эколого-экономической эффективности применения технологии компостирования органической фракции твердых коммунальных отходов на территории Восточного административно-производственного объединения Свердловской области.

выполненную на кафедре Департамент наук о земле и космосе

по направлению подготовки Экология и природопользование

направленности (профилю) Экологический мониторинг

2. ВКР (м) состоит из текстовой части на 54 страницах формата А4

3. Анализ существа и основных положений ВКР (м):

Актуальность избранной темы высокая и не вызывает сомнения. Она обусловлена тем, что необходимо снижать объемы захоронения твердых коммунальных отходов и сокращать негативное воздействие полигонов твердых бытовых отходов на окружающую среду за счет утилизации органики методом компостирования, что позволит не только уменьшить количество захараниваемых отходов и снизить выбросы парниковых газов в атмосферу, но и даст возможность получения технического грунта с низкой себестоимостью.

Оригинальность и глубина проработки разделов. Тематика, план выполнения и текст работы оригинальны. Структура работы логичная и выверенная. Глубина проработки достаточная для выпускной квалификационной работы. В работе содержится подробный и обстоятельный обзор литературы. Заключение имеет прикладную значимость. В целом представленная работа оставила приятное впечатление от прочтения.

Общая грамотность и качество оформления работы. Работа написана грамотным языком. Текст дополнен наглядными и хорошо читаемыми иллюстрациями. Оформление работы соответствует требованиям, предъявляемым к выпускным квалификационным работам.

Вопросы и замечания. В работе перечислены преимущества технологии компостирования, а имеются ли на Ваш взгляд недостатки?

4. Основные выводы:

Рецензируемая выпускная квалификационная работа представляет собой завершенное исследование, имеет научную и практическую значимость, по структуре, содержанию и оформлению соответствует требованиям, предъявляемым к выпускным квалификационным работам, и заслуживает отличной оценки, а ее автор Махнева Нина Витальевна заслуживает присуждения степени «магистр» по направлению подготовки 05.04.06 «Экология и природопользование»

Рассмотренная ВКР (м) рекомендуется

(рекомендуется / не рекомендуется)

к защите в ГЭК на соискание квалификации магистра  
по направлению 05.04.06 «Экология и природопользование»

Рецензент Учаев Антон Павлович

(фамилия, имя, отчество)

доцент, кандидат биологических наук

(должность, ученая степень, ученое звание рецензента)

Департамент наук о Земле и космосе ИЕНиМ, УрФУ

(наименование учреждения, предприятия, организации)

Подпись рецензента Учаев

Подпись А.А. Учаев

(и.о. фамилия рецензента)

« 29 » мая 20 24 г.

УДОСТОВЕРЯЮ

Инспектор отдела кадров \_\_\_\_\_

(сокращённое наименование учреждения, предприятия, организации)

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

(подпись, печать, и.о. фамилия)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

С рецензией ознакомлен

29 мая 2024г  
(дата)

Магистрант \_\_\_\_\_, Махмудов И.В.

(подпись)

(и.о. фамилия)

## СОДЕРЖАНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	6
ВВЕДЕНИЕ.....	7
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ.....	9
1 Обзор литературы.....	9
1.2 Образование, размещение и переработка ТКО в Российской Федерации.....	10
1.3 Образование, размещение и переработка ТКО в Свердловской области.....	13
1.4 Международный опыт регулирования деятельности в области обращения с ТКО .....	14
1.5 Правовое регулирование в области обращения с отходами производства и потребления.....	16
1.5. Современные технологии обращения с органическими отходами .....	22
2 Способы и методы теоретических и аналитических исследований .....	30
2.1 Место выполнения работы .....	30
2.2 Методы исследования .....	30
2.3 Краткое описание предприятия и организационной структуры управления .....	31
2.4 Практическая реализация этапов деятельности по обращению с отходами на предприятии .....	35
3 Результаты и их обсуждение .....	36
3.1 Расчет платы за загрязнение ОС при размещении ТКО .....	36
3.2 Исчисление размера вреда в результате порчи почв при их захлавлении .....	38
3.3 Расчет эколого-экономического эффекта при переходе на систему компостирования .....	40
3.4 Расчет экономического эффекта при применении технологии компостирования на полигонах АПО-3 .....	41
3.5 Расчет эколого-экономической эффективности предлагаемых мероприятий .....	42
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	45
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ .....	46
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	50



## **ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ**

В настоящей работе применяют следующие обозначения и сокращения:

ТКО – твердые коммунальные отходы

АПО-3 – восточное административно-производственное объединение Свердловской области

ВР – вторичные ресурсы

ФО – федеральный округ

МО – муниципальное образование

КП – коммерческое предложение

МСК – мусоросортировочный комплекс

МСЛ – мусоросортировочная линия

РО – региональный оператор

НВОС – негативное воздействие на окружающую среду

ОС – окружающая среда

З.у. – земельный участок

га – гектар

АУП – административно-управленческий персонал

ИТР – инженерно-технические работники

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность выбранной темы** – ежегодно в России образуется огромное количество твердых коммунальных отходов, в 2022 г. этот показатель составил порядка 45 867,4 тыс. т. В связи с низким уровнем обработки большая часть отходов направляется на захоронение, в результате чего отчуждается значительное количество земель, происходит загрязнение почв, грунтовых вод и воздуха.

В общей массе отходов от 20 до 30 % приходится на органическую фракцию. При бесконтрольном разложении органика выделяет в окружающую среду метан, диоксид углерода и диоксид азота, а фильтрат, образующийся при разложении, в случае попадания в почву или грунтовые воды негативно влияет на их экологическое состояние.

В то же время органические компоненты твердых коммунальных отходов (ТКО) обладают высокой ресурсной ценностью и при правильной утилизации могут стать отличным источником удобрений, питательного грунта, техногрунта в зависимости от характера утилизации, а выделение из общей массы отходов органической оставляющей позволит снизить объемы захораниваемых отходов.

С целью утилизации органической фракции ТКО в мире широко применяются технологии промышленного компостирования. К преимуществам данного метода можно отнести:

- Возможность увеличения выделения из твердых коммунальных отходов максимально возможного количества видов вторичных ресурсов.
- Снижение выбросов парниковых газов в атмосферу.
- Уменьшение объемов захоронения ТКО.
- Сокращение сроков разложения органических компонентов ТКО до нескольких месяцев.
- Получение технического грунта с низкой себестоимостью.

В Свердловской области в зависимости от сезона на органическую фракцию при рассмотрении морфологического состава ТКО также приходится от 20 до 30 %.

**Цель исследования** – Определение эколого-экономической эффективности применения технологии компостирования органической фракции твердых коммунальных отходов на примере предприятия Спецавтобаза по АПО-3.

### **Задачи работы:**

- 1) Провести обзор современной ситуации в сфере обращения с твердыми коммунальными отходами.
- 2) Изучить современные, перспективные технологии обращения с органическими фракциями твердых коммунальных отходов.

3) Проанализировать действующую систему обращения с отходами на предприятии ЕМУП «Спецавтобаза» на территории АПО-3 Свердловской области.

4) Рассчитать эколого-экономическую эффективность применения технологии компостирования органической фракции твердых коммунальных отходов на примере предприятия ЕМУП «Спецавтобаза», действующего на территории АПО-3 Свердловской области.

## **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

### **1 Обзор литературы**

#### **1.1 Основные термины и определения**

**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 [1].

**Органические фракции ТКО** – Разлагаемые микроорганизмами, почвенными организмами или ферментами твердые коммунальные отходы животного, растительного или грибного происхождения, либо с высоким содержанием органических веществ животного, растительного или грибного происхождения, такие как пищевые отходы, бумага, картон, дерево, ветки, листья, деревянная упаковка, кожа и текстиль натуральные. [2].

**Биоразложение** – разложение материала, вызванное биологической активностью микроорганизмов. Результатом являются устойчивые, простые соединения (вода, углекислота), кроме того, происходит минерализация – образуются соли присутствующих соединений. Существует два вида биоразложения – аэробное и анаэробное [3].

**Компостирование** – биотермический процесс минерализации и гумификации органических отходов, происходящий в аэробных условиях под воздействием микроорганизмов [4].

**Органическое удобрение из ТКО** – вид удобрения, содержащий органические вещества растительного или животного происхождения, источником получения которого являются твердые коммунальные отходы [2].

**Питательные грунты** – многокомпонентные искусственные смеси, главным компонентом которых выступает компост, предназначенные для использования в растениеводстве, садоводстве, цветоводстве лесном и городском хозяйствах, на приусадебных участках для повышения плодородия почв, урожайности, качества продукции растениеводства, благоустройства, озеленения территорий, в том числе рекреационных, соответствующие ГОСТ Р 53381 [2].

**Техногенный грунт** – грунт, измененный, перемещенный или образованный в результате инженерно-хозяйственной деятельности человека [5].



**Обработка отходов** – это предварительная подготовка отходов к дальнейшей утилизации, включая их сортировку, разборку, очистку [1].

**Утилизация отходов** – это использование отходов для производства товаров (продукции), выполнения работ, оказания услуг, включая повторное применение отходов, в том числе повторное применение отходов по прямому назначению (рециклинг), их возврат в производственный цикл после соответствующей подготовки (регенерация), извлечение полезных компонентов для их повторного применения (рекуперация), а также использование твердых коммунальных отходов в качестве возобновляемого источника энергии (вторичных энергетических ресурсов) после извлечения из них полезных компонентов на объектах обработки [1, 2].

**Обезвреживание отходов** – это уменьшение массы отходов, изменение их состава, физических и химических свойств (включая сжигание, за исключением сжигания, связанного с использованием твердых коммунальных отходов в качестве возобновляемого источника энергии (вторичных энергетических ресурсов), и (или) обеззараживание на специализированных установках) в целях снижения негативного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую среду [1].

**Размещение отходов** – захоронение отходов [1].

**Накопление отходов** – складирование отходов на специализированных объектах сроком более чем одиннадцать месяцев в целях их дальнейшей обработки, утилизации, обезвреживания, утилизации [1].

**Захоронение отходов** – размещение отходов, не подлежащих дальнейшей утилизации, в специальных хранилищах/полигонах [1].

## **1.2 Образование, размещение и переработка ТКО в РФ**

Ежегодно в России образуется огромное количество твердых коммунальных отходов, большая часть которых не подлежит утилизации из-за низкого уровня сортировки на уровне образования. В результате необходима организация новых полигонов захоронения, увеличивается число несанкционированных свалок, которые несут высокую нагрузку на окружающую среду. Опыт европейских стран показывает, что при организации грамотной системы сбора с первичной сортировкой отходов возможно сделать шаг к экономике замкнутого цикла и начать вторично использовать большую часть образованных бытовых отходов ТКО. Восемь стран, входящих в состав Евросоюза, а именно Германия, Австрия, Словения, Нидерланды, Швейцария, Люксембург, Бельгия и Италия уже к 2020 г. перерабатывали 50 % и выше коммунальных отходов [8].

В России уровень переработки значительно ниже. По данным Министерства природных ресурсов в 2022 г. в РФ было образовано 45 867,4 тыс. т твердых коммунальных отходов. Этот показатель на 5,2 % ниже результатов 2021 г. (тогда было образовано 48 362,8 тыс. т ТКО), что является недопустимо высоким. Из этого количества было обработано 48,8 % отходов (22 404,9 тыс. т), что на 0,4 % меньше, чем в 2021 г. [9].

Рассматривая отдельные регионы, можно отметить, что лидирующую позицию по образованию ТКО среди федеральных округов занимает Центральный федеральный округ, на территории которого в 2022 г. было образовано 32 % всех отходов РФ (см. рисунок 1.1). Такие показатели обусловлены высокой плотностью населения [9]. На долю Уральского федерального округа приходится 7 % от общего объема образованных ТКО.

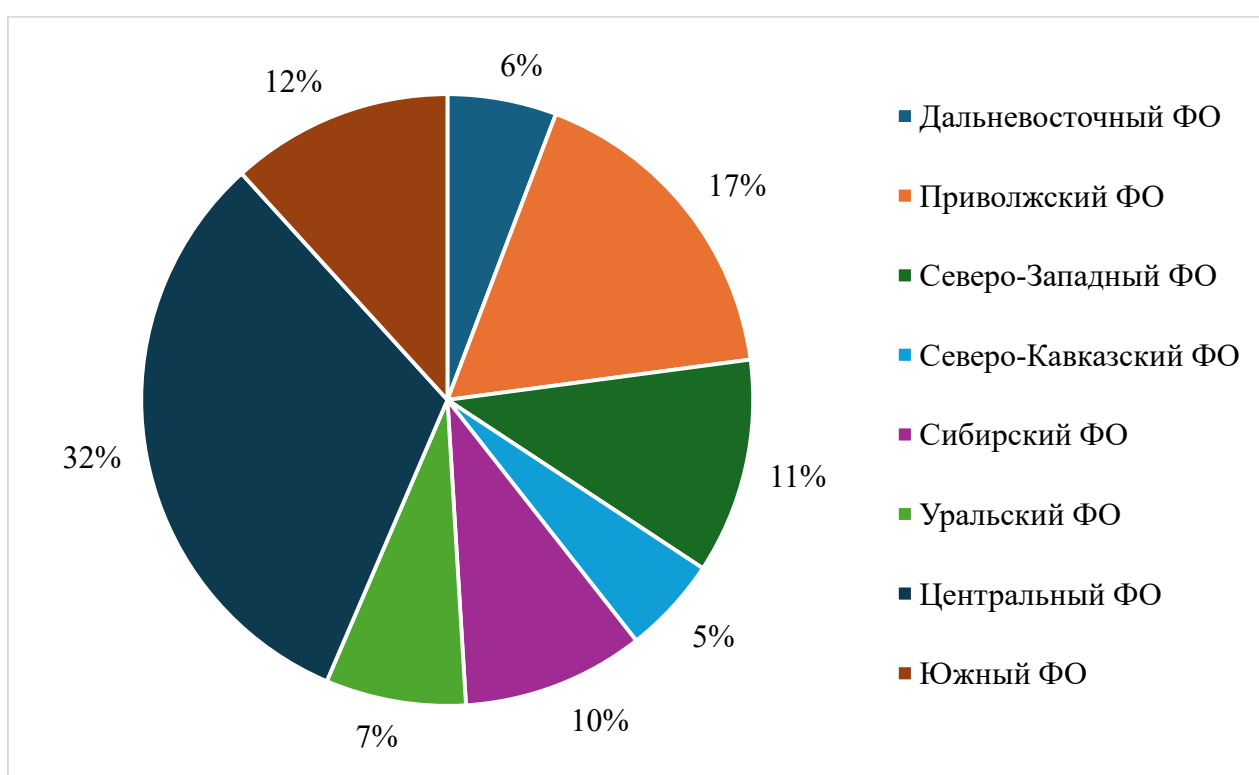


Рисунок 1.1 – Распределение объема образования ТКО в разрезе субъектов РФ в 2022 г., %

Из-за слабо развитой системы обработки, обезвреживания и утилизации, большая часть отходов подвергается захоронению. В 2022 г. в РФ было захоронено 37 237,96 тыс. т, что составляет 77 % от общей массы образованных ТКО. Наибольшие показатели отмечаются в Центральном федеральном округе, где было захоронено 8 082,39 тыс. т ТКО (см. рисунок 1.2). В Уральском ФО этот показатель составил 3 333,84 тыс. т ТКО.

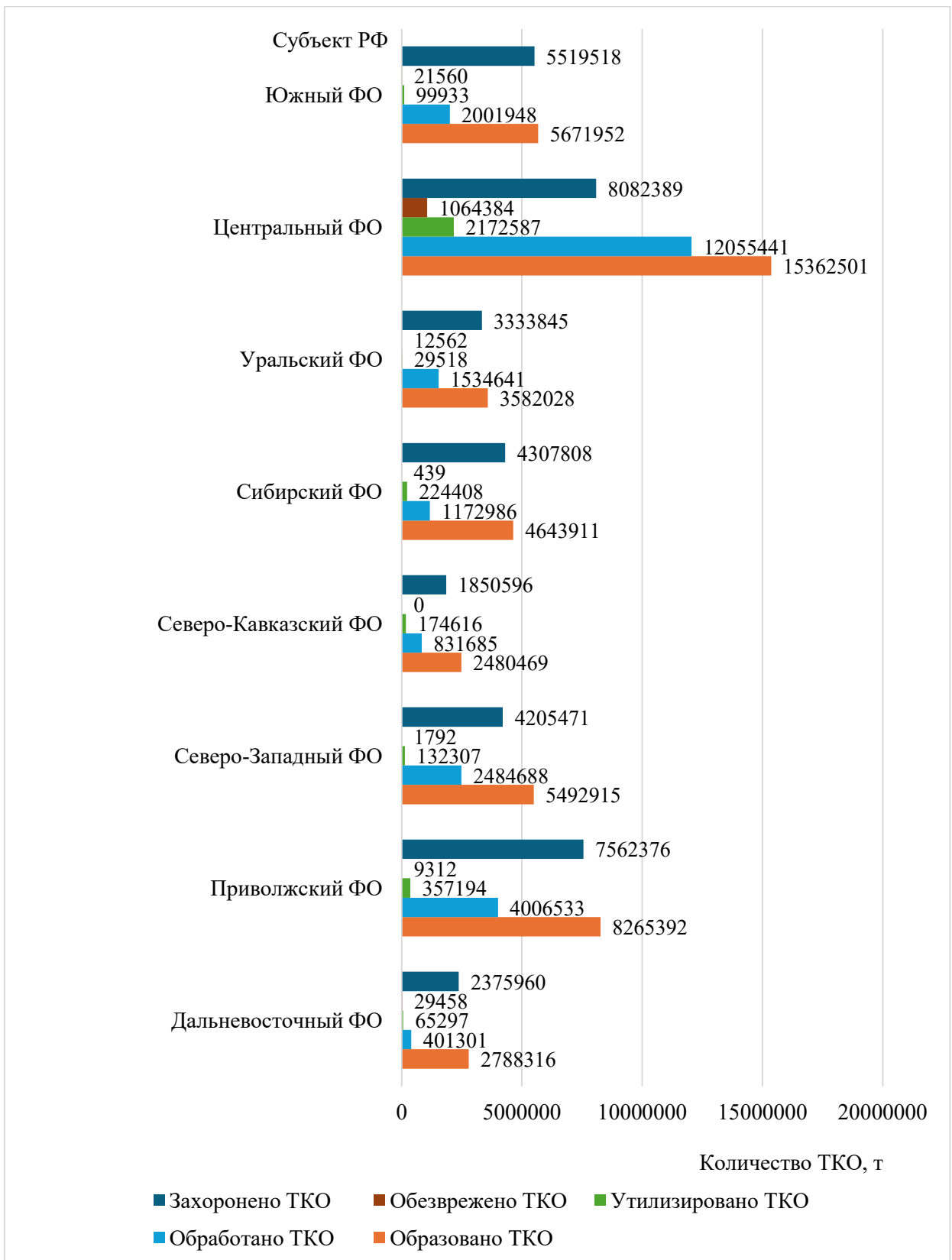


Рисунок 1.2 – Распределение объемов образования, обработки, утилизации, обезвреживания и захоронения ТКО в разрезе субъектов РФ в 2022 г., тыс. т

### 1.3 Образование, размещение и переработка ТКО в Свердловской области

В Свердловской области в 2022 г. общий объем образованных коммунальных отходов составил 1675,5 тыс. т, из них ТКО – 1407,2 тыс. т, жидкие коммунальные отходы – 54,3 тыс. т, прочие коммунальные отходы – 214 тыс. т. На конец 2022 г. обработано, утилизировано и обезврежено только 273,7 тыс. т, что соответствует 19,4 %. Этот показатель на 9,4 % выше, чем в 2021 г. (см. рисунок 1.3) [10].

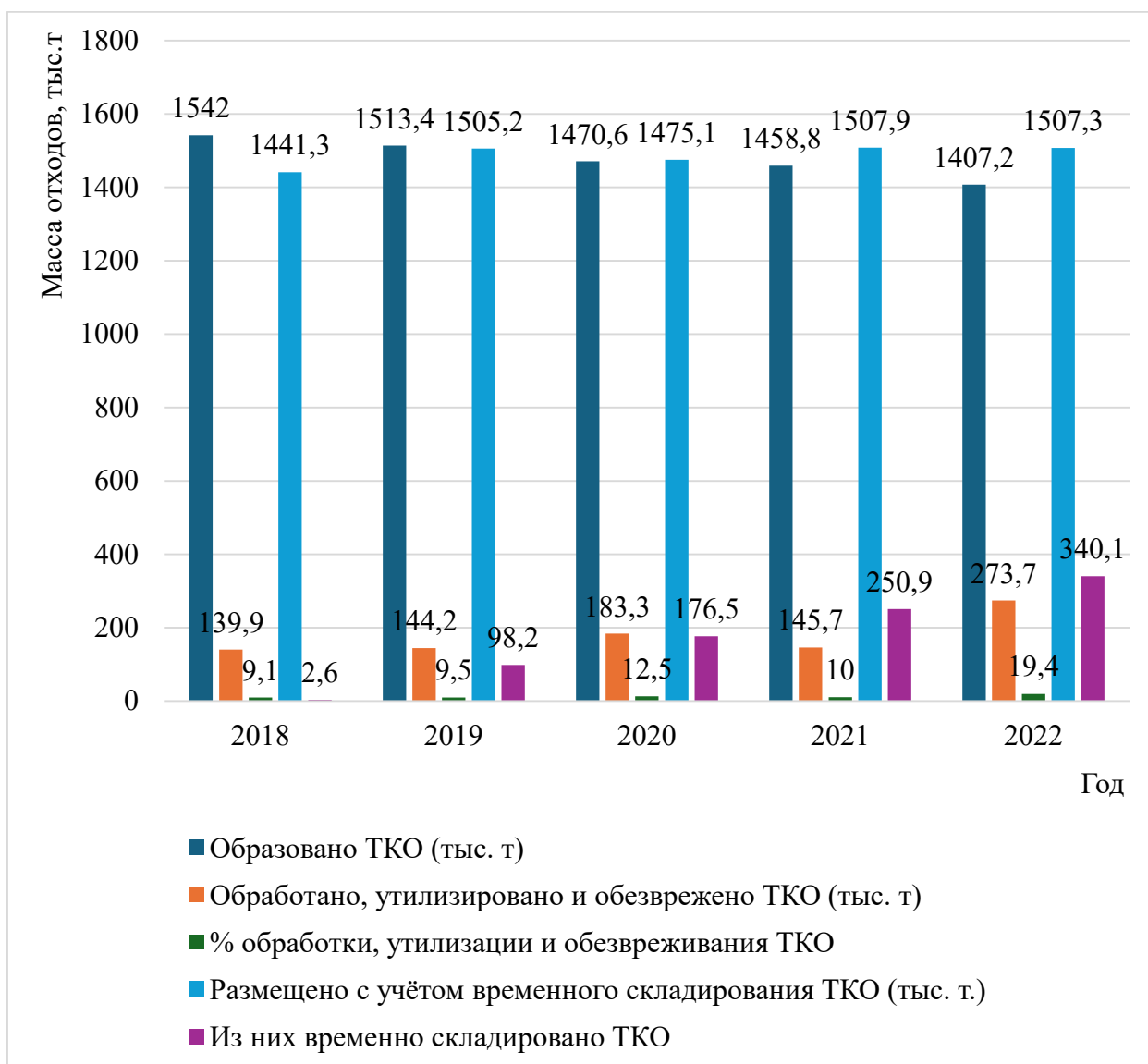


Рисунок 1.3 – Сведения об образовании, утилизации, обезвреживании и размещении твердых коммунальных отходов за 2018–2022 гг., тыс. т

Отходы, не подлежащие переработке, отправляются на полигоны. На 2022 г. на территории Свердловской области зарегистрировано 227 объектов размещения ТКО на площади в 790,6 га, что на 71 превышает показатели 2021 г. [10]. Важно отметить, что только 29 объектов из зарегистрированных включены в Государственный реестр объектов размещения отходов.



Помимо негативных экологических последствий (загрязнение почвы, грунтовых вод и т. д.), образование отходов приводит к большим финансовым нагрузкам региона. Согласно постановлению правительства РФ № 758 от 29.06.2018 г. за размещение отходов в пределах лимитов, установленных законодательством, а также за сверхлимитное размещение по Свердловской области в 2021 г. были начислены платежи в размере 864,967 млн. руб., что на 225,876 млн. руб. выше прошлого года [11].

Этих последствий можно было бы избежать, при увеличении доли перерабатываемых отходов. Серьезной проблемой в цепочке сбора и переработки является сортировка на уровне образования. Грамотно организованный процесс сортировки позволяет серьезно облегчить дальнейшую обработку, утилизацию и обезвреживание отходов на мусороперерабатывающих предприятиях. В России необходимая инфраструктура слабо развита, что серьезно усложняет процессы сортировки. В соответствии с данными опроса Российского экологического оператора в 2021 г. у 61 % россиян отказываются заниматься сортировкой отходов дома, мотивируя это отсутствием контейнеров в шаговой доступности [12].

На 2022 г. раздельное накопление ТКО внедрено на территории 54 муниципальных образований, что составляет 57 % от общего количества муниципальных образований Свердловской области. Также на территории области действует четыре мусоросортировочных комплекса в муниципальном образовании г. Екатеринбург, муниципальном образовании г. Каменск-Уральский, городском округе г. Лесной, муниципальном образовании г. Алапаевск, мусоросортировочная линия в городском округе Верхняя Пышма и порядка 30 индивидуальных предпринимателей и организаций, занимающихся переработкой вторичных ресурсов – пластика, стекла и бумаги.

До конца 2028 г. запланировано строительство объектов обращения с отходами на территории г. Нижний Тагил, в городском округе Краснотурьинск, в г. Красноуфимске, МСК «Камышловский», объекта по обращению с отходами для муниципального образования г. Екатеринбург и Екатеринбургской агломерации, реконструкции завода твёрдых бытовых отходов в г. Первоуральске [10].

#### **1.4 Международный опыт регулирования деятельности в области обращения с ТКО**

Хорошие примеры грамотного обращения с отходами можно найти в странах Евросоюза.

Так, согласно существующей с 1990-х гг. концепции Zero Waste (дословно – ноль отходов) отходы вообще не подвергаются складированию на полигонах и свалках. Главной

целью этой концепции является минимизация объемов образования отходов, либо разработка новых видов продукции, с учетом их дальнейшей утилизации.

В концепции Zero Waste можно выделить три ступени:

– Безотходные процессы добычи, разработки и производства с целью предотвращения образования отходов («ZW extraction, design and production processes»). Подразумевает использование уже имеющихся материалов вместо добычи невозобновляемых природных ресурсов, внедрение использования альтернативных ресурсов [12].

– Снижение объемов ТКО с помощью концепции устойчивого потребления, подразумевающей ответственное отношение покупателей к потребляемой продукции («sustainable consumption»). Основой принципа является не полный отказ от потребления, а большая рационализация, повышение эффективности потребления. Так данный принцип пропагандирует повторное использование продукции, если это представляется возможным [12].

– Снижение объемов ТКО с помощью стратегий безотходного управления («zero waste management and treatment»). В рамках этой ступени подразумевается замена понятия «отходы» на понятие «вторичные ресурсы» [12].

Согласно отчету европейского общества «Zero Waste Europe» за 2021 г. в Хорватии под руководством компании PRE-KOM успешно проходит внедрение системы раздельного сбора отходов [13]. Если в 2015 г. отсортировывалось только 22 % отходов, то к 2020 г. этот показатель в некоторых регионах вырос до 65,23 %. До 2025 г. планируется повысить результаты до 75 %. Достижение таких успехов обязано внедрению системы сбора «door-to-door» [14], согласно которой граждане оставляют отсортированные отходы прямо рядом с домом, откуда их забирают коммунальные службы.

В Болгарии система «door-to-door» также стала одной из наиболее часто применяемых, появляются новые компостные установки, ведется сбор вторсырья. Благодаря этому в стране к концу 2021 г. было образовано на 12 % меньше отходов в сравнении с 2019 г. Количество захороненных отходов снизилось на 29 %, а раздельный сбор увеличился на 32 %. Все мероприятия направлены на создание городов с нулевым количеством отходов [13].

Традиционная концепция потребления нашла отражение в использовании термина Cradle-to-Grave (C2G) – дословный перевод – «от колыбели до могилы». Эта концепция описывает линейные потоки движения отходов, в которых продукция от момента образования постепенно переходит к захоронению. На этой основе была сформулирована новая концепция Cradle-to-Cradle (C2C) (перевод – от колыбели до колыбели), которой

потоки отходов вовлечены в циклические, замкнутые процессы (см. рисунок 1.4). Эта концепция не просто предлагает решения существующих проблем, но рассматривает источники этих проблем и подходящую переформулировку решаемых задач [12].

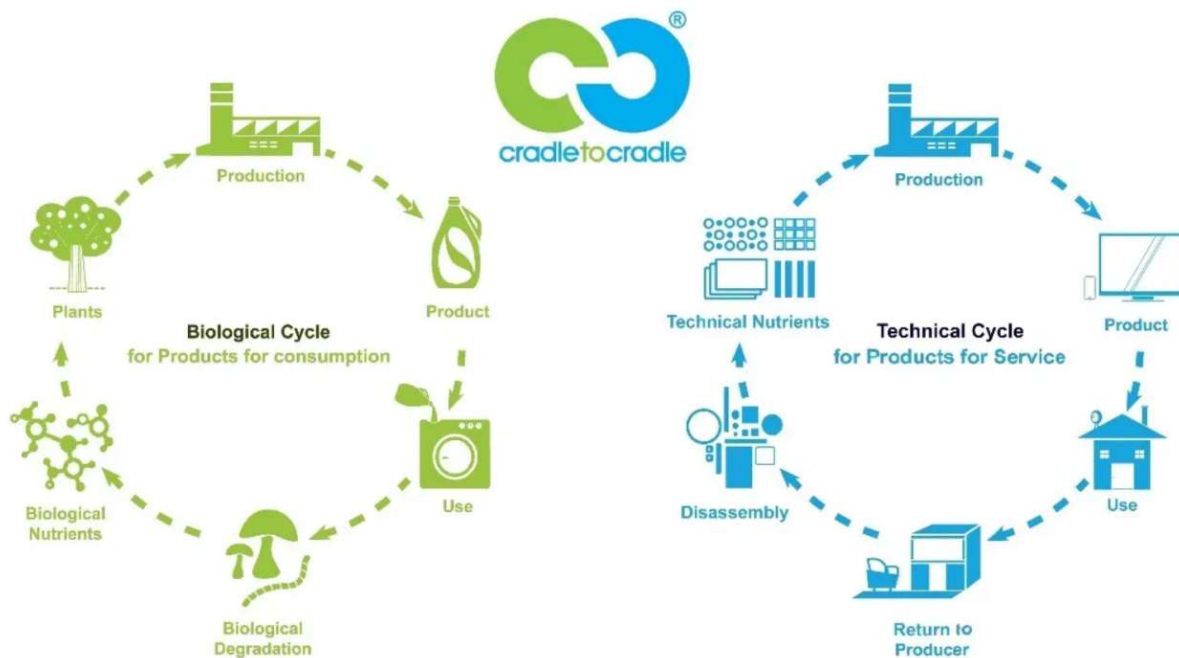


Рисунок 1.4 – Концепция Cradle-to-Cradle [8]

Концепция Cradle-to-Cradle объединяет в себе разные подходы к управлению отходами. Например концепцию Recycling («переработка») и Industrial Symbiosis («промышленный симбиоз»). За основу взят принцип циркуляции питательных веществ по цепям питания внутри экосистем – иначе метаболизм. По аналогии, современные инновации в планировании и дизайне могут быть направлены на создание «технического метаболизма» – циклического обмена продуктами, товарами или услугами в производственном процессе, который позволит эффективно применить имеющиеся технологии [12].

### **1.5 Правовое регулирование в области обращения с отходами производства и потребления**

С 1 января 2019 г. в России стартовала «мусорная» реформа, направленная на реорганизацию системы обращения с отходами.

Основными задачами реформы являются:

- Внедрение раздельного сбора отходов.

– Разработка территориальных схем обращения с отходами, утвержденных для каждого региона в отдельности.

– Определение и утверждение единого тарифа на услуги по обращению с отходами, формируемого с учетом затрат на транспортирование, обработку, захоронение твердых коммунальных отходов, а также платы за негативное воздействие на окружающую среду.

– Определение на конкурсной основе организаций, ответственных за все ступени в цепочке обращения с отходами – такие организации получили статус Региональных операторов по обращению с отходами. Региональные операторы заключают договоры на сбор, транспортирование, обработку и размещение ТКО с собственниками отходов или отходообразователями (юридические лица, управляющие компании и т. д.).

– Строительство и ввод в эксплуатацию в регионах современных объектов обращения с отходами.

– Сокращение числа мест несанкционированного размещения отходов.

Существует структура управления сферы обращения с отходами, включающая в себя ряд федеральных и муниципальных органов, осуществляющих организацию, регулирование, формирование нормативно-правовой базы, контроль, учет движения отходов, а также обеспечение актуальной информацией населения и других участников системы обращения с отходами.

Так Федеральная служба по надзору в сфере природопользования (далее – Росприроднадзор) отвечает за разработку и внедрение нормативно-правовой базы в части утверждения лимитов на размещение отходов и нормативов по их накоплению.

Министерство природных ресурсов и экологии РФ (далее – Минприроды) отвечает за разработку региональных программ в части обращения с твердыми коммунальными отходами. В Свердловской области вопросами движения ТКО, формированием потоков, внесением изменений в Территориальную схему обращения с отходами занимается Министерство энергетики и жилищно-коммунального хозяйства Свердловской области (далее – Мин. ЖКХ). Также Мин. ЖКХ занимается вопросом утверждения инвестиционных программ Региональных операторов, утверждает тарифы, действующие на территории области.

Основными нормативными документами, регулирующими сферу обращения с отходами, являются:

– Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 01 марта 2024 г.) – является основой в вопросе обращения с отходами. Раскрывает основные понятия, определяет правовую базу, устанавливает полномочия РФ, субъектов РФ и органов местного самоуправления в области обращения с отходами,



определяет основные требования к обращению с отходами, раскрывает вопросы нормирования, учета и отчетности в области обращения с отходами, регулирует экономические вопросы, определяет меру ответственности за нарушения действующего законодательства [1].

– Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 №7-ФЗ (ред. от 01 января 2020 г.) – формулирует и утверждает понятие «экологической безопасности», определяет правовые основы государственной политики в области охраны окружающей среды [6].

– Федеральный классификационный каталог отходов (далее – ФККО) утвержденный Приказом Росприроднадзора от 22 мая 2017 г. № 242 (ред. от 18 января 2024 г.) [15].

– Постановление Правительства РФ от 12.11.2016 г. № 1156 (ред. от 18.03.2021 г., с изм. от 30.05.2023 г.) «Об обращении с твердыми коммунальными отходами и внесении изменения в постановление Правительства РФ от 25 августа 2008 г. № 641» [16] – определяет основания, по которым юридическое лицо может получить или лишиться статуса Регионального оператора, устанавливает типовую форму договора на оказание услуг по обращению с ТКО, а также определяет порядок обращения с отходами.

– Территориальная схема обращения с отходами производства и потребления на территории Свердловской области утвержденная приказом Министерства энергетики и жилищно-коммунального хозяйства Свердловской области от 31.03.2020 г. № 185 [17] – определяет и регулирует потоки твердых коммунальных отходов, организует накопление (в том числе раздельное), сбор, транспортирование, обработку, утилизацию, обезвреживание, размещение отходов производства и потребления на территории Свердловской области.

В рамках реорганизации сферы обращения с отходами было проведено реформирование системы финансирования. Если до проведения «мусорной» реформ вывоз отходов и дальнейшее обращение с ними оплачивалось по остаточному принципу (основная масса средств из общего платежа за коммунальные услуги шла на ключевые расходы, такие как водоснабжение, электрообеспечение и т. д., на обращение с отходами шли оставшиеся средства) [18], то с 1 января 2019 г. был установлен единый тариф, учитывающий затраты на транспортирование, обработку, захоронение твердых коммунальных отходов, платы за негативное воздействие на окружающую среду, затраты на реализацию инвестиционных проектов, а также расходов на заключение и дальнейшее обслуживание договоров.

Единый тариф на услуги Регионального оператора устанавливает уполномоченный орган исполнительной власти субъекта РФ. В Свердловской области таким органом является Министерство энергетики и жилищно-коммунального хозяйства Свердловской области.

В 2018 г. Правительством РФ был утвержден национальный проект «Экология», в рамках которого реализуются национальные цели развития страны.

На основании Указа президента РФ № 474 от 21.07.2020 г. в рамках национальной цели «Комфортная и безопасная среда для жизни» в срок до 2030 г. запланировано создание устойчивой системы обращения с ТКО, обеспечение 100 % сортировки отходов, снижение объемов отходов, направляемых на захоронение не менее, чем в два раза, снижение выбросов опасных загрязняющих веществ и ликвидация опасных объектов накопления [19]. Несмотря на это к 2022 г. в России до сих пор преобладает способ полигонного захоронения отходов. В 2022 г. на захоронение был направлен 81 % твердых коммунальных отходов. Этот показатель превышает значения 2021 г., когда на захоронение было направлено 90 % ТКО [12].

Также на основании Указа президента РФ № 204 от 07.05.2018 г. запланирована ликвидация всех несанкционированных мест размещения отходов, выявленных на 1 января 2018 г. [20].

На конец 2021 г. на территории РФ зафиксировано 15 513 мест несанкционированного размещения отходов. В 2022 г. этот показатель увеличился на 846 (было выявлено 16 359 свалок), было ликвидировано 19 077 свалок. На конец 2022 г. количество мест несанкционированного размещения отходов составило 12 759 [11].

По данным Российского экологического оператора на территории РФ в 2022 г. было введено в эксплуатацию 36 объектов обработки и утилизации ТКО, мощностью 3,33 млн. т и 0,66 млн. т соответственно.

За период с 2018 по 2022 гг. было введено 185 установок по утилизации и переработке отходов общей мощностью в 5 579,7 тыс. т/г. с максимальным значением в 2018 г. – 93 установки (см. таблицу 1.1) [11].

Таблица 1.1 – Основные показатели в области организации обращения с отходами производства и потребления в РФ на 2018–2022 гг.

Наименование показателя	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Количество установок по утилизации и переработке отходов производства, ед.	93	26	21	35	10

Продолжение таблицы 1.1

Наименование показателя	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Мощность установок по утилизации и переработке отходов производства, тыс. т/г.	475,7	833,0	3 904,2	356,5	10,3
Мощность предприятий и полигонов по утилизации, обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных, бытовых и иных отходов, тыс. т/г.	516,7	35825,2	565,7	6814,1	51337,5
Количество предприятий и полигонов по утилизации, обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных, бытовых и иных отходов, ед.	12	13	7	13	12

Основной проблемой в успешном внедрении положений «мусорной» реформы является отсутствие налаженной системы сортировки отходов на уровне образования. Из-за нехватки сырья мощности мусороперерабатывающих заводов используются не полностью, что приводит к снижению рентабельности их использования.

Можно сделать вывод, что основными задачами, стоящими перед современной Россией, являются совершенствование системы управления обращением с отходами, включающей в себя оптимизацию деятельности каждого звена жизненного цикла ресурсов. Для этого необходимо определить возможность государственного влияния на граждан страны и предприятия отрасли обращения с отходами, а также осуществления господдержки данной сферы, в том числе необходимым видится рассмотрение возможности перехода регионов России от линейного пути развития на принципы «циклического» подхода в экономике страны.

Размещение твердых коммунальных отходов на полигонах приводит к загрязнению почвы, подземных вод, атмосферного воздуха. В соответствии с Федеральным законом № 7 «Об охране окружающей среды» и Федеральным законом № 89 «Об отходах производства и потребления» при размещении твердых коммунальных отходов с юридического лица, в процессе хозяйственной деятельности которого образуются отходы, взимается плата за негативное воздействие на окружающую среду.

Размер платы утверждается в соответствии с рядом нормативно-правовых актов, к которым относятся:

а) Постановление Правительства Российской Федерации от 13.09.2016 г. № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах» [7].

б) Постановление Правительства РФ от 03.03.2017 № 255 (ред. От 27.12.2019 г.) «Об исчислении и взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду» (вместе с «Правилами исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду») (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2020 г.) [21].

в) Приказ Минприроды России от 09.01.2017 г. № 3 «Об утверждении Порядка представления декларации о плате за негативное воздействие на окружающую среду и ее формы» [22]

д) Постановление Правительства Российской Федерации 29.07.2018 г. № 758 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду при размещении твердых коммунальных отходов IV класса опасности (малоопасные) и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» [23].

ж) Постановление Правительства РФ от 31 мая 2023 г. № 881 «Об утверждении Правил исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду и о признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации и отдельного положения акта Правительства Российской Федерации» [24].

к) Приказ Минприроды и экологии РФ от 30.12.2019 г. № 899 «О внесении изменений в Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 9 января 2017 г. № 3 «Об утверждении порядка представления декларации о плате за негативное воздействие на окружающую среду и ее формы» [25].

В зависимости от уровня воздействия, объекты, оказывающие воздействие на окружающую среду, делятся на четыре категории:

- Объекты I категории – оказывают значительное негативное воздействие на ОС.
- Объекты II категории – оказывают умеренное негативное воздействие на ОС.
- Объекты III категории – оказывают незначительное негативное воздействие на ОС.
- Объекты IV категории – оказывают минимальное негативное воздействие на ОС.

Полигоны ТКО относятся к Объектам I категории. Для таких объектов существует необходимость получения комплексного экологического разрешения (КЭР). До получения КЭР предоставления декларации о воздействии на окружающую среду (ОС) признаются лимиты на выбросы/сбросы.

В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 31 мая 2023 г. № 881 «Правила исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду» [24] плата за негативное воздействие на ОС с 1 января 2020 г. подлежит

зачислению в региональные и местные бюджеты в соотношении 40 % к 60 %. Плательщиками за негативное воздействия являются Региональные операторы по обращению с ТКО, операторы по обращению с ТКО, осуществляющие деятельность по их захоронению.

Платежной базой для исчисления платы за негативное воздействие на окружающую среду является объем размещенных в отчетном периоде твердых коммунальных отходов. Объемы определяются ответственными за внесение платы лицами самостоятельно на основе данных производственного экологического контроля. Платежная база определяется в отношении каждого загрязняющего вещества, включенного в соответствующий перечень, класса опасности отходов производства и потребления, также учитываются лимиты на размещение отходов производства и потребления.

Плата за негативное воздействие вычисляется путем умножения величины платежной базы на соответствующие ставки платы с использованием коэффициентов, установленных ст. 16.3 настоящего постановления. Информация о платежной базе предоставляется в ежегодном порядке в составе Декларации о плате за негативное воздействие на окружающую среду.

Ставки платы за негативное воздействие на ОС и дополнительные коэффициенты установлены Постановлением Правительства РФ от 23 сентября 2016 г. № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах». Так, ставка за размещение отходов производства и потребления IV класса опасности составляет 663,2 руб. за 1 т.

В соответствии с п. 5 ст. 16.3. Федерального закона № 7 при исчислении платы за негативное воздействие применяется ряд коэффициентов. Например: коэффициент 1 – за объем или массу отходов, размещенных в пределах соответствующих лимитов, а также в соответствии с Декларацией о плате за негативное воздействие на окружающую среду; коэффициент 25 – за размещение отходов производства и потребления сверх лимитов.

Важно отметить, что при размещении отходов производства и потребления на объектах размещения отходов, исключаящих негативное воздействие на окружающую среду, плата за негативное воздействие не взимается.

### **1.6 Современные технологии обращения с органическими отходами**

Значительную часть твердых коммунальных отходов составляют органические отходы, не только несущие высокую нагрузку на окружающую среду, но и обладающие высокой ресурсной ценностью. На основании данных, предоставленных ЕМУП «Спецавтобаза» доля органической фракции в твердых коммунальных образующихся на

территории АПО-3 отходов составляет от 20 до 30 % в зависимости от сезона (см. рисунок 1.5).

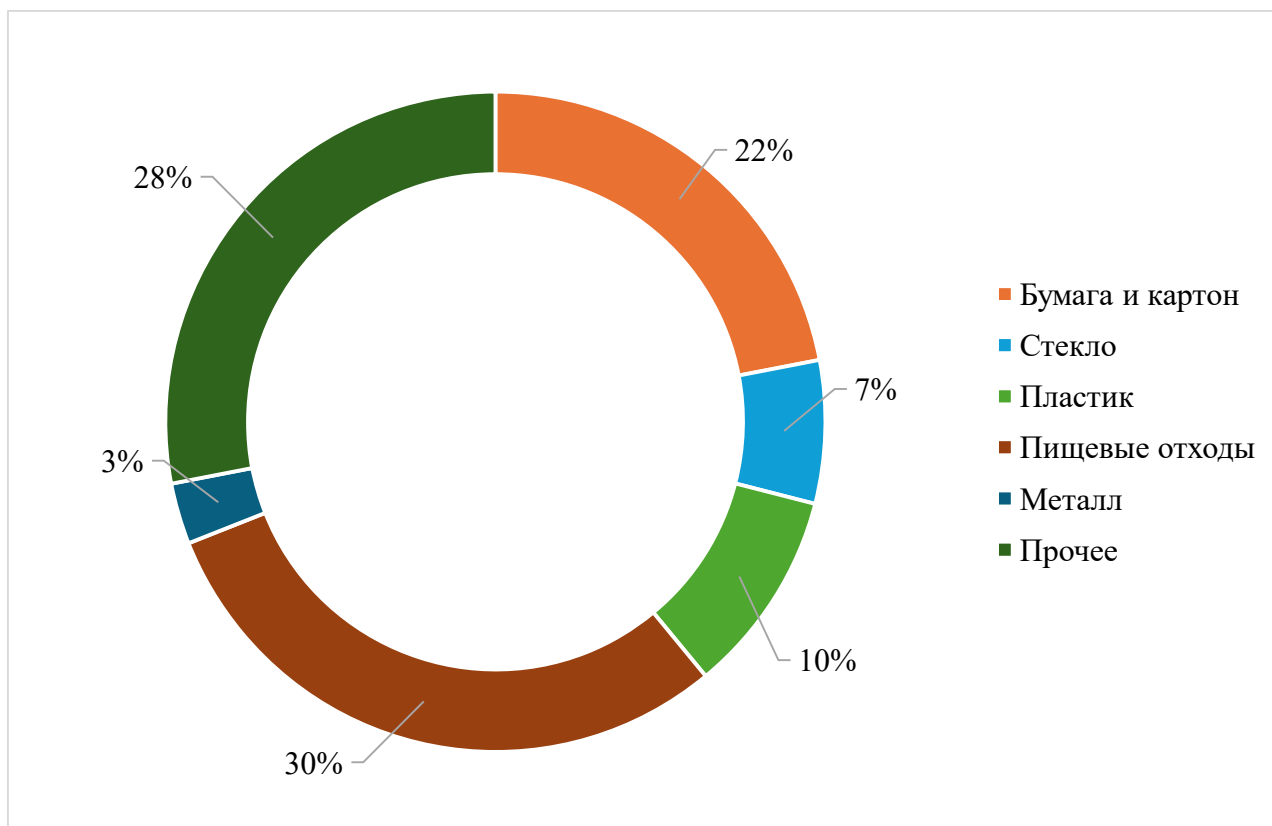


Рисунок 1.5 – Морфологический состав твердых коммунальных отходов

Внедрение промышленного компостирования позволяет исключить захоронение органических отходов, реализовать концепцию «сухого полигона», производить из органических отходов технический грунт [26].

Существует большое количество различных методов утилизации органической фракции ТКО, к которым можно отнести:

- Анаэробное сбраживание.
- Вермикомпостирование.
- Укрывное компостирование.
- Автоматическое компостирование с использованием колесного ворошителя.
- Компостирование в климатических камерах или туннельное компостирование.

Рассмотрим особенности каждого метода.

**Анаэробное сбраживание.** Представляет из себя технологию переработки ТКО под воздействием микробиологических процессов без доступа кислорода с целью получения биогаза и органического удобрения. Биогаз используется для получения тепловой и



электрической энергии, остатки органической массы после сбраживания используются в качестве органического удобрения.

Такой метод применяется при обработке смешанных муниципальных отходов, где доля органической фракции относительно невелика и получить высококачественные удобрения не представляется возможным. Основной целью в таком случае является именно получение биогаза.

Технология включает в себя следующие этапы:

а) Из отходов извлекают вторичные ресурсы и измельчают.  
б) После полученную массу направляют в метантенк, где ее выдерживают в анаэробных условиях в течение 10–16 суток при температуре 25 °С с целью сбраживания. В результате из 1 т отходов получают 120–140 м<sup>3</sup> биогаза.

в) Часть полученного газа направляют в газгольдер, оставшийся газ под давлением подают под слой перерабатываемых отходов с целью перемешивания сбраживаемой массы.

д) Отработанную твердую фракцию частично обезвоживают, подают в разрыхлитель и после подвергают грохочению, разделяя массу на органические удобрения и отсев, который направляется на захоронение.

Типичный состав биогаза – 55–70 % метана, 30–45 % диоксида углерода, 200–4000 частей на млн. сульфида углерода [27].

В результате сжигания полученного биогаза без предварительной очистки выделяется 23 400 кДж/м<sup>3</sup> тепла, после очистки от примесей диоксида углерода и сероводорода – 35 600 кДж/м<sup>3</sup>.

**Вермикомпостирование.** Суть метода заключается в использовании способности червей перерабатывать органические отходы. Дождевые черви в силу своей экологической особенности заглатывают органические остатки почвы, размельчают их в кишечнике, химически трансформируют и выбрасывают наружу органические отходы, обогащенные микроорганизмами, кальцием и ферментами в виде экскрементов, которые называют копролитами. Еще одной особенностью дождевых червей является способность проделывать в почве или перерабатываемой массе ходы, улучшающие воздушный режим.

За сутки один червь пропускает через себя количество почвы (отходов), равное его массе. Таким образом, при плотности популяции 500 000 тыс. особей на 1 га за сутки они пропускают через себя 0,25 т земли (отходов). При активной деятельности около 200 дней в году общее количество переработанной массы составит 400–600 т/га.

Метод утилизации вермикомпостированием привлекателен тем, что не требует применения химических реагентов, дополнительных технологических процессов и

переработки побочных продуктов. Кроме того, минимизированы риски негативного воздействия на окружающую среду.

К субстратам, успешно разлагаемым червями, можно отнести сельскохозяйственные отходы, отходы пищевой и целлюлозно-бумажной промышленности, кожевенных фабрик, имеются работы по переработке вермикультуры таких отходов, как ботва, солома, клубни, фрукты, навоз, пищевые отходы, опил.

Организация переработки пищевых отходов вермикультуры не вызывает особых сложностей. Именно поэтому промышленные технологии переработки этой фракции органических отходов с помощью червей получили наиболее широкое распространение. За короткий промежуток времени (1,5–2 мес.) при соблюдении всех параметров процесса можно получить из пищевых отходов органическое удобрение – биогумус.

Дозревание таких компостов происходит быстрее, чем обычных компостов, так как черви лучше измельчают отходы, увеличивается площадь контакта с микроорганизмами, участвующими в разложении. При этом создаются условия для жизнедеятельности организмов, подавляющих развитие патогенных организмов. В таком компосте больше доступных питательных элементов.

Достаточно обширные теоретические разработки по вермикомпостированию органических отходов и успешный практический опыт позволили сформулировать общие методические подходы и требования к организации вермикомпостирования в промышленных масштабах. В общем виде эти требования сводятся к следующему: успешное использование дождевых червей в процессах переработки органических отходов в промышленных масштабах возможно при условии создания для них оптимальных условий, удовлетворяющих биологическим потребностям вида. К основным факторам, определяющим не просто выживаемость червей, но и стимулирующих их жизнедеятельность, относятся: качество исходного субстрата, температура, наличие кислорода, влажность субстрата.

В настоящее время в ряде стран за рубежом с большим коммерческим успехом работают многие фирмы, специализирующиеся на утилизации бытовых, сельскохозяйственных и промышленных отходов на основе технологий вермикомпостирования. Только в США около 1500 относительно крупных и множество мелких фирм специализируются в получении вермикомпоста. Созданы крупные установки, способные перерабатывать до 150 т отходов в сутки. В Италии вермикомпостирование получило распространение после 1976 г., когда туда была завезена специальная вермикультура – красный калифорнийский червь.

В США специально для задач вермикюльтивирования ТБО и сельскохозяйственных отходов выведен особый вид дождевых червей – красный калифорнийский. По своим характеристикам калифорнийский червь отличается от обычной более высокой скорости размножения, длительным сроком жизни и прожорливостью. Вместе с тем он теплолюбив, не способен выносить условия суровой зимы в открытом грунте, поэтому использование этого вида в условия Среднего Урала не представляется возможным. Кроме того, закупка калифорнийского червя связана со значительными финансовыми затратами [27].

В промышленных масштабах на текущий момент наиболее актуальными являются технологии укрывного компостирования, автоматического компостирования с использованием колесного ворошителя и туннельное компостирование.

**Укрывное компостирование.** Технологический процесс осуществляется в ваннах под полупроницаемой мембраной. Комплекс представляет собой модульную бетонированную площадку с ваннами для размещения компостируемых отходов (см. рисунок 1.6). Отходы в ванны загружаются при помощи фронтального погрузчика до нужной высоты. Процесс ускоренного компостирования происходит с использованием принудительной аэрации и дополнительного увлажнения. Все показатели регулируются датчиков и специального программного обеспечения. Влажность поступающей на участок компостирования органической фракции твердых коммунальных отходов составляет 40–60 %, оптимальная влажность процесса компостирования от 40 до 45 %.

Важной особенностью данного метода является минимизация выбросов вредных газов и уменьшение запахов за счет использования мембранного укрытия. Мембрана состоит из двух основных слоев, устойчивых к ультрафиолетовому излучению и воздействию влаги и полупроницаемой мембраны, изнутри задерживающей запахи, пыль, но пропускающей воздух и влагу. Таким образом создается благоприятный микроклимат. Ускоряющий процессы разложения органики. Использование мембранного укрытия позволяет защитить компостную массу от погодных воздействий и дополнительного увлажнения дождевой водой.



Рисунок 1.6 – Участок укрывного компостирования [28]

В зависимости от требований к качеству получаемой продукции процесс компостирования может длиться от 6 до 8 недель и разделяется на 3 основные фазы:

а) Органическая фракция ТКО загружается в ванну, накрывается мембраной и в течение 4 недель подвергается интенсивному разложению.

б) Снимается мембрана и компостируемая масса перегружается на участок второго бурта, после чего снова накрывается мембраной для второй фазы компостирования. Продолжительность второй фазы – 2 недели. Температура в бурте может подниматься до 60 °С (максимально до 85 °С). Отходы saniруются, их масса по сухому веществу сокращается на 20 % (объем сокращается в 2 раза).

в) По прошествии двух недель компостируемая масса направляется на двухнедельное дозревание, которое может проходить без использования мембранного укрытия.

Финальным этапом является кондиционирование – очистка от механических примесей и балластных фракций с применением барабанных и воздушных сепараторов [29].

**Автоматическое компостирование с использованием колесного ворошителя.** Цех компостирования представляет собой крытый модуль (ангар), оборудованный системой аэрации компостных буртов и вытяжной вентиляцией для удаления воздуха из модуля через биофильтр. Полы покрыты гидроизоляционными материалами с целью

исключения попадания образующегося в результате компостирования фильтрата в грунт и грунтовые воды.

В полах предусмотрены каналы для вентиляции компостных буртов. В холодное время подаваемый воздух подогревается до температуры 10 °С. С целью контроля температуры и влажности ангар оборудован специальными датчиками. Также влажность и температуру замеряют при помощи переносного щупа, помещаемого при необходимости в тело бурта.

Продолжительность фазы активного компостирования составляет не менее 14 дней. В течение этого срока температура в бурте может подниматься до 60–70 °С, после чего постепенно снижается. С целью активизации процесса разложения бурты перемешиваются при помощи ворошительной машины (см. рисунок 1.7). Одновременно с ворошением бурты смещаются в сторону, а на их место загружаются новые. Вместе с перемешиванием в компостируемую массу могут вноситься термофильные микроорганизмы, активизирующие процессы разложения. За 14 дней происходит обеззараживание отходов, а объем отходов снижается на 30 %.

После активной стадии полученная масса направляется на кондиционирование, просеивается и направляется на дозревание, которое длится 15–30 дней. При этом происходит доокисление, уменьшение влажности компоста, понижается температура.



Рисунок 1.7 – Колесный ворошитель [30]



**Туннельное компостирование.** Процесс разложения осуществляется в закрытых бетонных туннелях.

Участок компостирования состоит бетонных туннелей (см. рисунок 1.8), в которые загружается органическая фракция ТКО до необходимой высоты при помощи фронтального погрузчика. После заполнения туннели закрываются и начинается процесс интенсивного компостирования, протекающего в автоматическом режиме.



Рисунок 1.8 – Туннельное компостирование [31]

Внутри туннеля в течение первых 4-х дней поддерживается температура 55 °С, за это время происходит санирование отходов, а их масса по сухому веществу сокращается на 20 %.

После первичного активного компостирования компостируемая масса перегружается в соседний туннель, где в течение 8 дней продолжается процесс разложения. Дальнейшее дозревание происходит в следующем туннеле на протяжении 15 дней, где происходит относительно медленный распад органического вещества. За это время происходит сушка полученного компоста, отходы теряют еще до 25 % массы по сухому веществу. Завершающим этапом является кондиционирование полученной массы.

Принимая во внимание вышеперечисленные характеристики проведен сравнительный анализ представленных технологий (см. таблица 1.2)

Таблица 1.2 – Сравнительный анализ технологий компостирования

№ п/п	Наименование характеристики	Укрывное (мембранное) компостирование	Автоматическое компостирование с использованием колесного ворошителя	Туннельное компостирование
1	Занимаемая площадь	-	-	+
2	Время компостирования	-	-	+
3	Простота технологии	+	-	-
4	Стоимость строительства	+	-	-
5	Стоимость эксплуатации	+	-	-
	<b>Итого:</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>2</b>

Исходя из совокупных технологических и экономических показателей наиболее эффективной технологией можно принять укрывное компостирование.

Полный анализ данных технологий представлен в таблице А.1.

## 2 Способы и методы теоретических и аналитических исследований

### 2.1 Место выполнения работы

Работа выполнялась на ЕМУП «Спецавтобаза» – региональный оператор по обращению с твердыми коммунальными отходами на территории Восточного административно-производственного объединения Свердловской области, в которое входят 34 муниципальных образования (с центром в г. Екатеринбург).

### 2.2 Методы исследования

В основе методологии исследования лежит анализ трудов отечественных и зарубежных исследователей в области обращения с твердыми коммунальными отходами, а также нормативно-правовых документов: федеральные законы и постановления Российской Федерации.

Для внедрения метода компостирования в работу предприятия важно учесть ряд факторов, влияющих на эффективность метода в заданных условиях, а также учитывая возможности и приоритеты предприятия.



С целью определения наиболее перспективного метода компостирования выбраны следующие критерии оценки:

а) Занимаемая площадь.

б) Время компостирования, (чем меньше времени занимает процесс компостирования, тем больше циклов пройдет в течение г., соответственно будет обработана больший объем органической фракции ТКО).

в) Затраты на строительство, эксплуатацию и заработную плату персонала.

д) Простота технологии (обучение персонала).

Рассматривались следующие методы:

а) Мембранное компостирование.

б) Автоматическое компостирование с использованием колесного ворошителя.

в) Компостирование в климатических камерах (тоннельное).

При расчете эколого-экономической эффективности учитывались следующие составляющие эколого-экономического эффекта:

а) Размер платы за негативное воздействие на окружающую среду в результате захоронения твердых коммунальных отходов.

б) Величина предотвращенного эколого-экономического ущерба почвам в результате их захламления.

в) Величина предотвращенного эколого-экономического ущерба почвам в результате их перекрытия.

д) Снижение затрат на закупку грунта для осуществления эксплуатации полигонов АПО-3.

Расчет величин затрат производился на основании следующих нормативно-правовых актов:

– Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (ред. от 01 января 2020 г.) [6].

– Постановление Правительства № 913 от 13 сентября 2016 г. О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах [7].

– Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды, утвержденной Приказом Минприроды № 238 от 08 июля 2010 г. (в ред. от 18 ноября 2021 г.) [33].

### **2.3 Краткое описание предприятия и организационной структуры управления**

Свердловская область поделена на три административно-производственных объединения (см. рисунок 2.1), в каждом из которых действует региональный оператор:

- северное АПО-1 – региональный оператор ООО «Компания «Рифей»;
- западное АПО-2 – региональный оператор ООО «ТБО «Экосервис»;
- восточное АПО-3 – региональный оператор ЕМУП «Спецавтобаза».

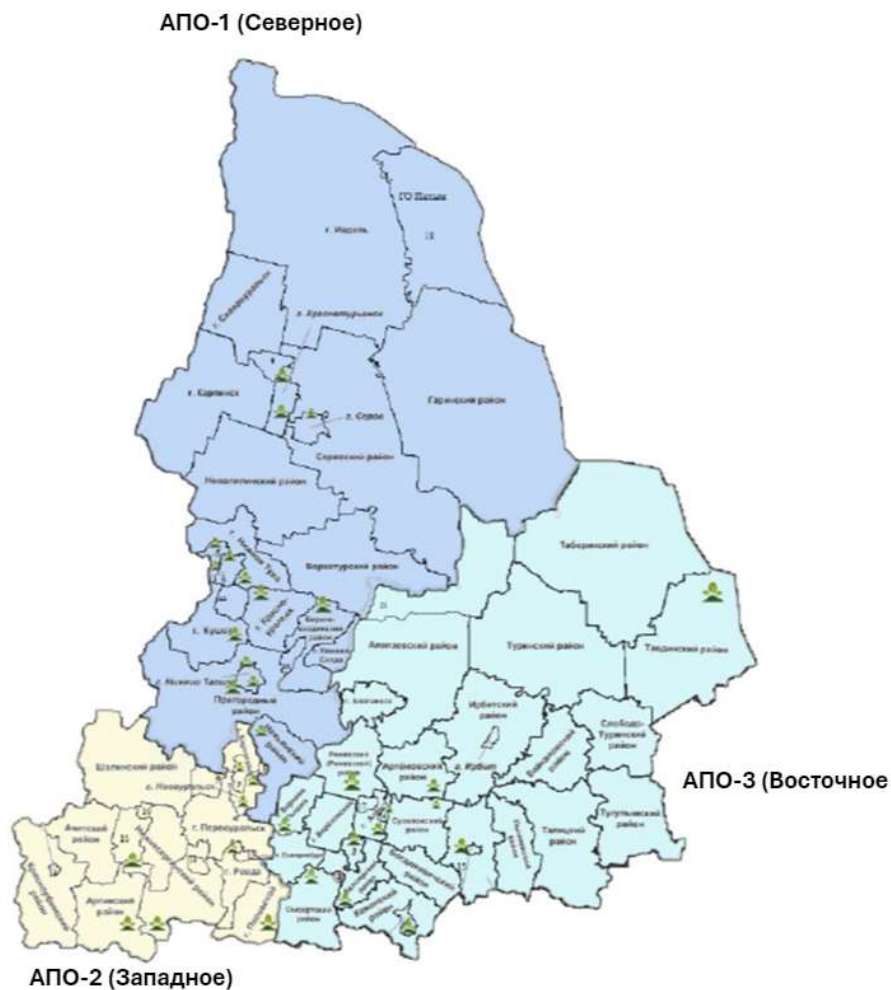


Рисунок 2.1 – Схема территориального деления на административно-производственные объединения Свердловской области

ЕМУП «Спецавтобаза» начиная с 2019 г. является крупнейшим Региональным оператором Свердловской области, на основании Соглашения, заключенного с Министерством энергетики и ЖКХ Свердловской области, обеспечивая:

- 1) предоставление комплексных услуг по обращению с ТКО на территории АПО-3 Свердловской области (сбор, транспортирование, обработка, размещение), в состав которого входит 34 муниципальных образования;
- 2) внедрение системы раздельного накопления ТКО;
- 3) эколого-просветительскую деятельность и воспитание жителей Свердловской области по вопросам обращения с ТКО;

- 4) ликвидацию мест несанкционированного размещения отходов;
- 5) также на территории предприятия действует приют для животных и пункт приема отработанных покрышек.

Направление потоков ТКО регламентируется в соответствии с Территориальной схемой, в рамках которой в целях планирования потоков отходов с учетом вводимых в эксплуатацию объектов в сфере обращения с ТКО потоки разделены на следующие этапы:

- I этап – 2019–2027 гг. (см. рисунок 2.2).
- II этап – 2028–2030 гг.
- III этап – 2030–2038 гг.
- IV этап – 2039–2050 гг.



Рисунок 2.2 – Инфраструктура ЕМУП «Спецавтобаза»

В настоящее время на территории АПО-3 функционирует:

- а) 4 мусоросортировочных объекта, к которым относятся:
  - 1) МСК «Широкореченский» (г. Екатеринбург) мощностью 200 тыс. т/г., доля выборки вторичных ресурсов составляет 7 %;
  - 2) мобильная МСЛ ООО «Вторсбыт» мощностью 40 тыс. т/г., доля выборки вторичных ресурсов составляет 3 % (п. Крутой, ГО Верхняя Пышма);

3) комплекс сортировочных и перерабатывающих линий на полигоне твердых бытовых отходов в г. Каменск-Уральском мощностью 20 тыс. т/г., доля выборки вторичных ресурсов составляет 6,25 %;

4) МСК Алапаевский (г. Алапаевск) мощностью 32 тыс. т/г., доля выборки вторичных ресурсов составляет до 3,8 %.

б) 9 объектов обращения с ТКО;

в) 9 мусороперегрузочных станций;

д) 4 пункта длительного накопления отходов.

Схема потоков ТКО с местоположением всех объектов обращения с отходами на территории АПО-3 представлена на рисунке 2.3.

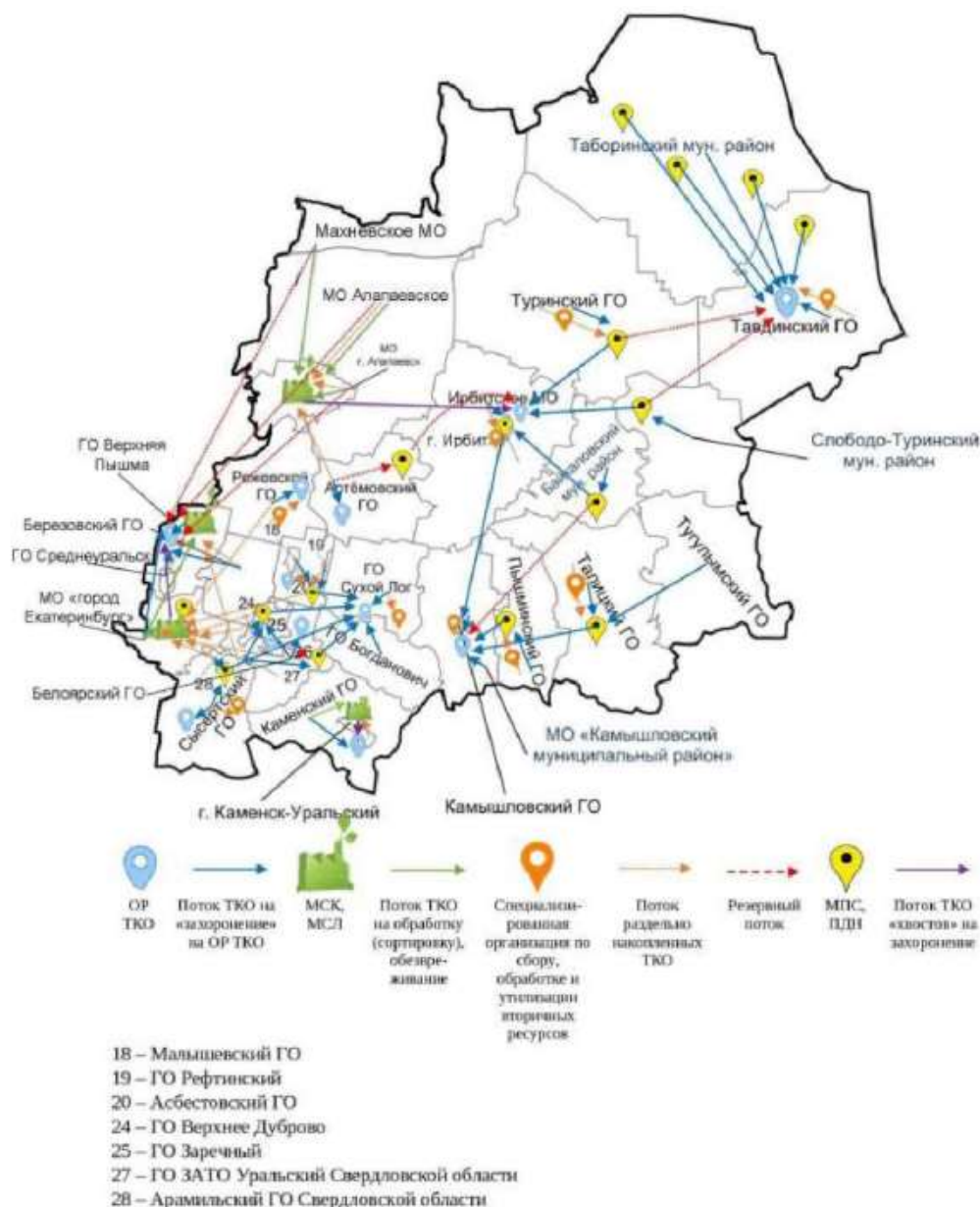


Рисунок 2.3 – Схема потоков ТКО АПО-3 (I этап)

Также ЕМУП «Спецавтобаза» осуществляет реализацию полезных компонентов, отобранных в результате деятельности МСК «Ширококореченский» с помощью онлайн-платформы по продаже вторсырья.

URL: [vnr.sab-ekb.ru](http://vnr.sab-ekb.ru)

На МСК производится отбор следующих компонентов ТКО:

- Картон.
- Бумага.
- Стекло и стеклобой бутылочный (коричневый, цветной, зеленый, бесцветный).
- Лом черных металлов. Жестяные банки.
- Алюминиевые банки, баллончики.
- Лом цветных металлов (латунь, медь, алюминий).
- Выдувные изделия.
- ПЭТ – бутылки (прозрачные, голубые, зеленые, коричневые).
- Пластиковые канистры.
- Пленка (стрейч, бесцветная, цветная).
- Бытовой пластик.
- Бытовая техника.
- Пластиковые пакеты.

#### **2.4 Практическая реализация этапов деятельности по обращению с отходами на предприятии**

На текущий момент предприятие активно внедряет систему дуального сбора твердых коммунальных отходов. По данным Регионального оператора уже оборудовано 2005 контейнерных площадок для дуального сбора отходов на территории 20 муниципальных образований АПО-3. Еще планируется обустройство 1 104 контейнерных площадок

**2019 г.** ЕМУП «Спецавтобаза» разработало и презентовало проект инвестиционной программы ЕМУП «Спецавтобаза» на 2022–2024 гг.:

- строительство МСК мощностью 400 тыс. т/г.
- реконструкция полигона ТБО «Северный».

Совокупная мощность перечисленных объектов соответствовала целевым показателям в области обращения с ТКО, установленным к 2030 г. Национальным проектом «Экология» и удовлетворяла потребности по обработке и размещению отходов агломерации г. Екатеринбург.

**2021 г.** заключено концессионное соглашение о создании и эксплуатации комплекса по обращению с ТКО «Екатеринбург-Юг», не учитывающее уже утвержденную Министерством энергетики и жилищно-коммунального хозяйства Свердловской области инвестиционную программу ЕМУП «Спецавтобаза».

**II квартал 2023 г.** ЕМУП «Спецавтобаза» осуществило мероприятия для обеспечения наиболее эффективной эксплуатации полигона ТБО «Северный», внесены изменения в ГРОРО по характеристике объекта размещения отходов, обеспечивающие размещение ТКО в срок до 2028 г.

**III квартал 2023 г.** ЕМУП «Спецавтобаза» подготовлены предложения по актуализации проекта инвестиционной программы, предусматривающей объекты «Екатеринбург-Север» и «Широкореченский», обеспечивающие достижение целевых показателей.

**IV квартал 2023 г.** в Территориальной схеме представлена информация о консолидации направления потоков агломерации г. Екатеринбург на объект «Екатеринбург-Юг», на сегодняшний день не обозначен земельный участок для осуществления строительства. Со стороны ЕМУП «Спецавтобаза» начаты мероприятия по предоставлению земельных участков для реализации Проекта.

### **3 Результаты и их обсуждение**

#### **3.1 Расчет платы за загрязнение ОС при размещении ТКО**

С целью стимулирования снижения загрязнения, аккумулирования средств в экологических фондах для реализации природоохранных мероприятий, а также для зачета подтвержденных расходов на природоохранные мероприятия в качестве платежей за загрязнение, статьей 16 Федерального закона от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» утверждена плата за негативное воздействие за размещение отходов производства и потребления.

Используется три вида экологических платежей:

а) **Нормативная плата** – плата за загрязнение окружающей среды, фактические объемы которого не превышают установленные природопользователю предельно допустимых нормативов.

б) **Лимитная плата** – плата за загрязнение окружающей среды, фактически объемы которого превышают предельно допустимые нормативы, но не превышают установленные лимиты.

в) Сверхлимитная плата – плата за сверхлимитное загрязнение окружающей среды, фактический объем которого выше установленных лимитов.

Постановлением правительства от 13 сентября 2016 г. № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах» утверждены ставки платы за размещение отходов производства и потребления по классу их опасности за 1 т (см. таблица 3.1) [7].

Таблица 3.1 – Ставки платы за размещение отходов производства и потребления по классу их опасности за 1 ту

№ п/п	Наименование класса опасности отхода	2016 г.	2017 г.	2018 г.
1	Отходы I класса опасности (чрезвычайно опасные)	4 452,4	4 643,7	4 643,7
2	Отходы II класса опасности (высокоопасные)	1 908,2	1 990,2	1 990,2
3	Отходы III класса опасности (умеренно опасные)	1 272,3	1 327	1 327
4	Отходы IV класса опасности (малоопасные)	635,9	663,2	663,2
5	Отходы V класса опасности (практически неопасные): Добывающей промышленности	1	1,1	1,1
	перерабатывающей промышленности	38,4	40,1	40,1
	прочие	16,6	17,3	17,3

Плата за размещение отходов в пределах установленных лимитов высчитывается по следующей формуле 3.1:

$$П = K_{\text{инф}} \times \sum_{n=1}^n M_{\text{отх } i} \times P_{\text{отх. лим } i}, \quad (3.1)$$

где  $K_{\text{инф}}$  – коэффициент, учитывающий инфляцию, устанавливаемый в соответствии с федеральным законом о федеральном бюджете на текущий финансовый год;

$M_{\text{отх } i}$  – фактическое размещение  $i$ -го отхода в пределах лимита, т ( $\text{м}^3$ );

$P_{\text{отх лим } i}$  – норматив платы за размещение 1 ты отходов  $i$ -го класса опасности в пределах лимитов, руб./т;

За 2022 г. в соответствии с Территориальной схемой обращения с отходами производства и потребления на территории Восточного Административно-производственного объединения Свердловской области на размещение направлено 922 285 т твердых коммунальных отходов.



В соответствии с Постановлением Правительства № 913 от 13 сентября 2016 г. [7] норматив платы за размещение 1 т твердых коммунальных отходов IV класса опасности составляет 663,2 руб./т;

Коэффициент инфляции в 2022 г. составил 1,19 в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 1 марта 2022 г. № 274 «О применении в 2022 г. ставок платы за негативное воздействие на окружающую среду» [32].

Таким образом, совокупная плата за размещение твердых коммунальных отходов на территории АПО-3 Свердловской области за 2022 составила:

$$1,19 \times 922\,285 \times 663,2 = 727\,874\,700,28 \text{ руб.}$$

### **3.2 Исчисление размера вреда в результате порчи почв при их захламлении**

Размещение твердых коммунальных отходов также несет серьезный вред, причиняемый почвам как объекту охраны окружающей среды в результате их захламления.

На основании Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды, утвержденной Приказом Минприроды № 238 от 08 июля 2010 г. (в ред. О\от 18 ноября 2021) [33] расчет размера вреда в результате порчи почв при их захламлении, возникшего при складировании на поверхности почвы или почвенной толще твердых коммунальных отходов осуществляется по формуле 3.2:

$$УЩ_{отх} = \sum_{i=1}^n (M_i \times Totx) \times K_{исп} \quad (3.2)$$

где  $УЩ_{отх}$  – размер вреда (руб.);

$n$  – количество видов отходов, сгруппированных по классам опасности в пределах одного участка, на котором выявлено несанкционированное размещение отходов производства и потребления;

$M_i$  – масса отходов с одинаковым классом опасности (т);

$Totx$  – такса для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту окружающей среды, в результате порчи почв при их захламлении, (руб./т).

$K_{исп}$  – показатель в зависимости от категории земель и целевого назначения, на которой расположен загрязненный участок.

В соответствии с данными, представленными в таблице 3.2 территории, объекты, на которых происходит размещение твердых коммунальных отходов, находятся на землях

промышленности. В соответствии с Методикой исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды, утвержденной Приказом Минприроды № 238 от 08 июля 2010 г. (в ред. от 18 ноября 2021 г.) показатель, учитывающий вид разрешенного использования земельного участка, равняется 1,3;

Таблица 3.2 – Сведения об объектах обращения с отходами, действующих на территории АПО-3 Свердловской области в 2022 г.

№ п/п	Наименование объекта обращения с отходами	Местоположение	Кадастровый номер з.у.	Разрешенное использование
1	Полигон ТБО Северный	п. Крутой	66:36:3201002:2	Земли промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, земли для обеспечения космической деятельности, земли обороны, безопасности и земли иного специального назначения
2	Полигон ТБО п. Двуреченск	п. Двуреченск	66:25:1322001:139	
3	Полигон ТБО г. Сухой Лог	г. Сухой Лог	66:63:1602002:3	
4	Полигон ТБО г. Асбест	г. Асбест	66:34:0503002:1206	
5	Полигон ТБО п. Рефтинский	п. Рефтинский	66:63:1601001:97	
6	Полигон ТБО г. Заречный	г. Заречный	66:42:0102001:789 66:42:0102001:790	
7	Полигон ТБО г. Каменск-Уральский	г. Каменск-Уральский	66:45:0100362:22	
8	Полигон ТБО п. Буланаш	п. Буланаш	66:02:1703018:31	
9	Свалка пром-бытовых отходов д. Фадюшина	д. Фадюшина	66:13:1601008:448	
10	Полигон ТБО г. Реж	г. Реж	66:22:1907002:117	
11	Полигон ТБО г. Тавда	г. Тавда	66:27:0502002:36	

В соответствии с таблицей 3.3 для отходов IV класса опасности такса для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту окружающей среды, в результате порчи почв при их захлавлении равна 13 000,00 руб./т.

Таблица 3.3 – Таксы для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды, в результате порчи почв при их захламлении

Класс опасности i-го вида отхода*	I	II	III	IV	V
Такса (руб./т)	94 000,00	81 000,00	54 000,00	13 000,00	10 000,00

Таким образом, размер вреда при складировании на поверхности почвы твердых коммунальных отходов составляет:

$$922\,285 \times 1,3 \times 13\,000 = 15\,586\,616\,500 \text{ руб.}$$

Общая сумма вреда высчитывается в соответствии с формулой 3.3:

$$P_{\text{общ1}} = U_{\text{Щотх}} + П, \quad (3.3)$$

где  $P_{\text{общ1}}$  – общая сумма вреда.

Таким образом, общая сумма ущерба до применения технологии компостирования составляет:

$$7\,278\,744\,700 + 15\,586\,616\,500 = 22\,865\,361\,200 \text{ руб.}$$

### **3.3 Расчет эколого-экономического эффекта при переходе на систему компостирования**

При применении технологии компостирования на захоронение будет направляться на 230 571,25 т отходов в год меньше, соответственно плата за размещение ТКО составит:

$$1,19 \times 691\,713,75 \times 663,2 = 454\,906\,025,21 \text{ руб.}$$

Экологический эффект при применении технологии компостирования составит:

$$727\,874\,700,28 - 454\,906\,025,21 = 272\,968\,657,07 \text{ руб.}$$

Экономический ущерб в результате порчи почв при их захламлении будет равняться:

$$691\,713,75 \times 1,3 \times 13\,000 = 11\,689\,962\,375 \text{ руб.}$$

Экологический эффект при применении технологии компостирования составит:

$$15\,586\,616\,500 - 11\,689\,962\,375 = 3\,896\,654\,125 \text{ руб.}$$

Совокупный размер ущерба после введения в цикл производства технологию компостирования ( $P_{\text{общ2}}$ ) составит:

$$454\,906\,025,21 + 11\,689\,962\,375 = 12\,144\,868\,400,221 \text{ руб.}$$

Совокупный экологический эффект составит:

$$272\,968\,657,07 + 3\,896\,654\,125 = 4\,169\,622\,782,07 \text{ руб.}$$

#### **3.4 Расчет экономического эффекта при применении технологии компостирования на полигонах АПО-3**

Ежегодно с целью формирования откосов и самого тела полигона ТБО Северный ЕМУП «Спецавтобаза» закупает 63 тыс. т грунта. На территории АПО-3 в 2022 г. действовало 11 полигонов. Применяв метод экстраполяции получим, что для эксплуатации всех полигонов ежегодно требуется закупать 693 тыс. т грунта.

В соответствии с таблицей А.1 масса получаемого техногрунта при применении технологии укрывного компостирования составляет 117 тыс. т/г.

Средняя стоимость строительного грунта на рынке варьируется от 100 до 200 руб. за т. Если брать среднюю стоимость, затраты предприятия за закупку ежегодно составят:

$$693\,000 \times 150 = 103\,950\,000 \text{ руб.}$$

Техногрунт, получаемый в результате компостирования, частично перекрывает потребность в закупке готового грунта, следовательно для осуществления эксплуатации Полигона предприятию потребуется закупать 576 000 т грунта в год. Величина затрат в таком случае составит:

$$576\,000 \times 150 = 86\,400\,000 \text{ руб.}$$

Экономическая выгода составит:

$$103\,950\,000 - 86\,400\,000 = 17\,550\,000 \text{ руб.}$$

### **3.5 Расчет эколого-экономической эффективности предлагаемых мероприятий**

Оценка эколого-экономической эффективности природоохранных мероприятий основывается на следующих принципах:

1) **Принцип соотношения затрат и выгод.** Эффективность природоохранного мероприятия может быть определена как полученный от проведения мероприятия эффект, отнесенный к величине затрат, которые обеспечили его достижение.

2) **Принцип интеграции.** Применение интегрального подхода позволяет учитывать всю совокупность затрат и выгод. Для этого должна быть предусмотрена процедура объединения экономического и экологического результатов, а также экономических затрат и экологических последствий (ущербов). Эффект от реализации природоохранных мероприятий должен учитывать как положительные результаты, так и отрицательные последствия.

3) **Принцип паритетности.** Выгоды и затраты должны включать экономическую и экологическую составляющие с учетом установления принципа их паритетности (равнозначности). Установление такого принципа позволяет перевести экологическую составляющую затрат в экономическую категорию. Необходимость этого обусловлена тем, что природная среда в современных условиях выступает одним из равноценных факторов производства. Кроме того, наносимый производством или технологическим процессом экологический ущерб компенсируется в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами за счет дополнительных экономических издержек или получаемой экономической прибыли. Понятию «выгоды» соответствует весь комплекс наступающих вследствие реализации природоохранного мероприятия как экономических, так и экологических результатов. Понятию «затраты» соответствует совокупность расхода материально-финансовых ресурсов, то есть экономических издержек и издержек природно-ресурсного потенциала, характеризующихся размером экологического ущерба, возникающего в процессе реализации природоохранного мероприятия.

4) **Принцип неопределенности.** Неопределенность возникающих последствий вызывает необходимость выявления всех эксплуатационных эффектов проведения природоохранного мероприятия, определяющих экономические и экологические последствия [34].

Для оценки эколого-экономической эффективности внедрения системы компостирования используется интегральная эколого-экономическая эффективность (ЭЭЭ), которая вычисляется по формуле 3.4:

$$\text{ЭЭЭ} = P/I, \text{ руб./руб.}, \quad (3.4)$$

где P – эколого-экономический эффект применения технологии компостирования;

I – совокупности всех дополнительных затрат на реализацию.

Таким образом, эколого-экономическая эффективность составит:

$$3\,416\,228\,002,07 \div 770\,962\,780 = 4,43$$

Величина интегрального эколого-экономического эффекта в общем виде может быть определена по формуле 3.5 как разность между выгодами от реализации применения технологии компостирования В и дополнительными затратами И на проектирование, строительство и эксплуатацию:

$$P = V - I, \text{ руб.}, \quad (3.5)$$

где В – выгода от реализации применения технологии компостирования;

I – совокупности всех дополнительных затрат на реализацию.

Интегральный эколого-экономический эффект составит:

$$4\,187\,190\,782,07 - 770\,962\,780 = 3\,416\,228\,002,07$$

Выгоды от реализации применения технологии компостирования рассчитываются по формуле 3.6:

$$V = \sum_{i=1}^n (V_{эн} + V_{эл}), \text{ руб.}, \quad (3.6)$$

где  $V_{эн}$  – совокупность выраженных в стоимостной форме положительных результатов экономического характера;

$V_{эл}$  – совокупность выраженных в стоимостной форме положительных результатов экологического характера;

n – общее число положительных результатов.

Выгода от реализации объекта компостирования составит:

$$272\,968\,657,07 + 3\,896\,654\,125 + 17\,550\,000 = 4\,187\,190\,782,07 \text{ руб.}$$

Дополнительные затраты представляют собой совокупность расхода материально-финансовых ресурсов на проектирование и строительство объекта компостирования (Иэн) и стоимостной оценки эксплуатационных затрат (Иэкс) (см. таблицу А.1) и вычисляются по формуле 3.7:

$$И = \sum_{i=1}^n (Иэн + Иэкс), \text{ руб.}, \quad (3.7)$$

где Иэн – расход материально-финансовых ресурсов на проектирование и строительство объекта компостирования;

Иэкс – расход материально-финансовых ресурсов на эксплуатацию объекта компостирования;

n – общее число расходов.

Совокупность дополнительных затрат составляет:

$$18\,219\,780 + 751\,743\,000 + 1\,000\,000 = 770\,962\,780 \text{ руб.}$$



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, утилизация органической фракции ТКО с применением технологии компостирования является перспективным методом обращения с твердыми коммунальными отходами.

Сокращение объемов твердых коммунальных отходов, направляемых на захоронение, на 20–30 % позволит не только прийти к концепции «сухого полигона» и снизить отрицательное воздействие на почву, подземные воды и воздух, но и, как следствие, уменьшить размер платы за негативное воздействие на окружающую среду и снизить размер вреда в результате захламления почв твердыми коммунальными отходами.

Получаемый в результате компостирования техногрунт может быть использован в качестве материала для формирования тела полигонов, отсыпки откосов, таким образом возможно снижение затрат на закупку грунта в АПО-3 на 17 550 000 руб./г.

Эколого-экономическая эффективность применения технологии компостирования положительна и составляет 4,43.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 01 марта 2024 г.) // URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_19109/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/) (дата обращения: 15.01.2024 г.).
- 2 ГОСТ Р 70718-2023 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Методические рекомендации по утилизации органических фракций твердых коммунальных отходов с применением методов компостирования. – М. : ФГБУ «РСТ», 2023. – 20 с.
- 3 ГОСТ Р 70083-2022 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководящие принципы обращения с пищевыми отходами. – М. ; ФГАУ «НИИ «ЦЭПП», 2022. – 16 с.
- 4 ГОСТ 34103-2017 Межгосударственный стандарт. Удобрения органические. Термины и определения. – М, ; ФГБНУ «ВНИИОУ», 2017. – 19 с.
- 5 ГОСТ 25100-2020 Межгосударственный стандарт. Грунты. Классификация. – М, ; НИИОСП им. Н.М. Герсевича, 2020. – 41 с.
- 6 Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7 (ред. от 01 января 2020 г.) // URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34823/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/) (дата обращения: 01.09.2023 г.).
- 7 Постановление Правительства Российской Федерации № 913 от 13 сентября 2016 г. «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах» // URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_154375/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_154375/) (дата обращения: 01.07.2023 г.).
- 8 Cradle to Cradle Design – How a Biochemist and an Architect Are Changing the World // URL:<https://wakeup-world.com/2014/11/26/cradle-to-cradle-design-how-a-biochemist-and-an-architect-are-changing-the-world/> (дата обращения: 13.05.2024 г.).
- 9 Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации 2022» Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – 687 с.
- 10 Государственный доклад «О состоянии окружающей среды на территории Свердловской области в 2022 году». – 25 с.
- 11 Государственный доклад «О состоянии окружающей среды на территории Свердловской области в 2021 году». – 365 с.
- 12 Уланова О. В., Салхофер С. П., Вюнш К. Комплексное устойчивое управление отходами. Жилищно-коммунальное хозяйство : учебное пособие. – М. : Издательский дом Академии Естествознания, 2016. – 520 с.

13 Jack McQuibban, Cities Programme Coordinator at Zero Waste Europe The state of zero waste municipalities report 2021 // URL: [https://zerowastecities.eu/wp-content/uploads/2021/12/SZWMR\\_2021-Final.pdf](https://zerowastecities.eu/wp-content/uploads/2021/12/SZWMR_2021-Final.pdf) (дата обращения: 07.04.2023).

14 Nicola Laurieri, Andrea Lucchese, Antonella Marino and Salvatore Digiesi A Door-to-DoorWaste Collection System Case Study : A Survey on its Sustainability and E\_ectiveness / Sustainability 2020 // URL:<https://www.mdpi.com/2071-1050/12/14/5520> (дата обращения: 07.04.2023).

15 Федеральный классификационный каталог отходов (далее – ФККО) утвержденный Приказом Росприроднадзора от 22 мая 2017 года № 242 (ред. от 18 января 2024 г.) // URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_218071/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_218071/) (дата обращения: 13.02.2024 г.).

16 Постановление Правительства РФ от 12.11.2016 N 1156 (ред. от 18.03.2021 г., с изм. от 30.05.2023 г.) «Об обращении с твердыми коммунальными отходами и внесении изменения в постановление Правительства Российской Федерации от 25 августа 2008 г. № 641» // URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_207118/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_207118/) (дата обращения: 26.12.2023 г.).

17 Территориальная схема обращения с отходами производства и потребления на территории Свердловской области, утвержденная приказом Министерства энергетики и жилищно-коммунального хозяйства Свердловской области от 31.03.2020 № 185 «Об утверждении территориальной схемы обращения с отходами производства и потребления на территории Свердловской области» // URL: <https://docs.cntd.ru/document/570723101> (дата обращения: 17.02.2024 г.).

18 Мусорная реформа: что это такое URL: <https://mos-konteiner.ru/article-item/musornaya-reforma-cto-yeto-takoe> (дата обращения: 14.01.2024).

19 Указ Президента Российской Федерации № 474 от 21.07.2020 г. «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» // URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_357927/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_357927/) (дата обращения: 07.08.2023 г.).

20 Указ Президента Российской Федерации № 204 от 07.05.2018 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» // URL: <https://base.garant.ru/71937200/> (дата обращения: 14.03.2024 г.).

21 Постановление Правительства РФ от 03.03.2017 № 255 (ред. От 27.12.2019) «Об исчислении и взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду» (вместе с «Правилами исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду») (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2020) // URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_213744/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_213744/) (дата обращения: 02.11.2023 г.).

22 Приказ Минприроды России от 09.01.2017 № 3 «Об утверждении Порядка представления декларации о плате за негативное воздействие на окружающую среду и ее формы» // URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_213197/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_213197/) (дата обращения: 27.08.2023 г.).

23 Постановление Правительства Российской Федерации 29.07.2018 г. № 758 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду при размещении твердых коммунальных отходов IV класса опасности (малоопасные) и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» // URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_301466/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_301466/) (дата обращения: 17.01.2024 г.).

24 Постановление Правительства РФ от 31 мая 2023 г. № 881 «Об утверждении Правил исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду и о признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации и отдельного положения акта Правительства Российской Федерации» // URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_448455/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_448455/) (дата обращения: 05.03.2024 г.).

25 Приказ Минприроды и экологии РФ от 30.12.2019 г. № 899 «О внесении изменений в Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 9 января 2017 г. № 3 «Об утверждении порядка представления декларации о плате за негативное воздействие на окружающую среду и ее формы» // URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_346449/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_346449/) (дата обращения: 14.01.2024 г.).

26 Бермудская трава, ель и другие растения : в Солнечногорске стартовал эксперимент по выращиванию растений в техногрунте // URL: [https://ec-line.ru/about/articles/?ELEMENT\\_ID=74914](https://ec-line.ru/about/articles/?ELEMENT_ID=74914) (дата обращения: 11.04.2024 г.).

27 Вайсман Я. И., Коротаяев В. Н. Управление отходами. Механобиологическая обработка твердых бытовых отходов. Компостирование и вермикомпостирование органических отходов: – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 225 с.

28 Технология мембранного компостирования отсева твердых коммунальных отходов после сортировки // URL: <https://ecostercus.ru/stati/tekhnologiya-membrannogo-kompostirovaniya-otseva-tverdykh-kommunalnykh-otkhodov-posle-sortirovki/> (дата обращения: 10.04.2024 г.).

29 Технологический стандарт ППК РЭО, утвержденный Приказом № 73 от 17 июня 2021 г. «Обращение с твердыми коммунальными отходами. Утилизация органических фракций твердых коммунальных отходов с применением метода компостирования» // URL: <https://reo.ru/technologies> (дата обращения: 24.09.2023 г.).

30 Ворошитель компоста колесного типа // URL: <https://www.sxmashina.com/voroshitel-komposta-kolesnogo-tipa/#> (дата обращения: 10.04.2024 г.).

31 Туннельное компостирование // URL: <https://ec-vector.ru/tehnologii-utilizaczii-podklyuch/tunnelnoe-kompostirovanie.html> (дата обращения: 10.04.2024 г.).

32 Постановление Правительства РФ от 01.03.2022 № 274 «О применении в 2022 году ставок платы за негативное воздействие на окружающую среду» // URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_410708/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_410708/) (дата обращения: 10.03.2024 г.).

33 Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды, утвержденной Приказом Минприроды № 238 от 08 июля 2010 г. (в ред. от 18 ноября 2021) // URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2072837/> (дата обращения: 21.01.2024 г.).

34 Магарил Е. Р., Березюк М. В., Рукавишникова И. В. Экономика природопользования: междисциплинарный подход – Изд-во. Санкт-Петербургского инженерно-экономического университета, 2013. – 407 с.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ**

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 – Сравнительная характеристика технологий компостирования

№ п/п	Наименование характеристики	Укрывное (мембранное) компостирование	Автоматическое компостирование с использованием колесного ворошителя	Туннельное компостирование
1	Мощность объекта, тыс.т отходов /г.	260	260	260
2	Производительность объекта, тыс. т/ г. технического грунта	117	117	117
3.1	Источники сырья для компоста	Органический отсев с линии сортировки ТКО размером 0-70мм	Органический отсев с линии сортировки ТКО размером 0-70мм	Органический отсев с линии сортировки ТКО размером 0-70мм
3.2	Используемое оборудование	Укрывочная машина, мембранное покрытие (покрывала), грохот для просеивания компоста, измельчитель (дробилка), вентиляторы, датчики, щупы измерения, система автоматического контроля, весовой комплекс	Ворошитель автоматический, конвейерные системы, системы орошения и приточно-вытяжной вентиляции, грохот барабанный, весовой комплекс	Конвейерные системы, системы орошения и приточно-вытяжной вентиляции, весовой комплекс, грохот барабанный
3.3	Используемые механизмы	Фронтальные погрузчики	Процесс полностью автоматизирован	Фронтальные погрузчики
3.4	Требуемая площадь земельного участка, Га	5	3,6	3,6



Продолжение таблицы А.1

№ п/п	Наименование характеристики	Укрывное (мембранное) компостирование	Автоматическое компостирование с использованием колесного ворошителя	Туннельное компостирование
4	Необходимость получения дополнительных разрешений на данный вид деятельности – лицензирование, ОКВЭД и т.д.	Переоформление лицензии на деятельность по обращению с отходами, внесение изменений в документацию предприятия в части расширения перечня кодов деятельности по ОКВЭД, разработка проекта санитарно-защитной зоны, проекта нормативов допустимых выбросов, проекта нормативов образования отходов и лимитов на их размещение, постановка на государственный учет объекта НВОС		
5	Срок реализации с начала проектирования	От 11 мес.	12 мес.	24 мес.
6	Стоимость проектирования, тыс. руб.	18 219,78	12 960,63	15 931,29
7	Стоимость строительства, тыс. руб	751 743	320 958,18	802 608,66
8	Эксплуатационные расходы, млн. руб. /г.	1 000,00	2 000,00	3 000,00
9	Длительность процесса компостирования (все этапы), дней	От 42	От 29	От 27

№ п/п	Наименование характеристики	Укрывное (мембранное) компостирование	Автоматическое компостирование с использованием колесного ворошителя	Туннельное компостирование
10	Всего затрат, млн. руб. /г.	27	29	40
11	Преимущества	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Простота технологии</li> <li>• Низкая стоимость реализации, сервисного обслуживания</li> <li>• Наличие ГЭЭ</li> <li>• Снижение выбросов дурно пахнущих веществ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Длительность процесса от 29 дней</li> <li>• Стоимость реализации</li> <li>• Наличие ГЭЭ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Длительность процесса от 27 дней</li> <li>• Снижение выбросов одорантов (дурно пахнущих веществ)</li> <li>• Наличие патента</li> </ul>
12	Недостатки	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Длительность процесса</li> <li>• Занимаемая площадь</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Сложность технологии</li> <li>• Высокие эксплуатационные затраты</li> <li>• Требования к квалификации рабочего персонала</li> <li>• Риск отравления персонала при нарушении системы отведения вредных газообразных веществ</li> <li>• Наличие в составе выбросов дурно пахнущих веществ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Сложность технологии</li> <li>• Высокие затраты реализации и сервисного обслуживания</li> <li>• Требования к квалификации рабочего персонала</li> <li>• Риск отравления персонала при нарушении системы отведения вредных газообразных веществ</li> </ul>

№ п/п	Наименование характеристики	Укрывное (мембранное) компостирование	Автоматическое компостирование с использованием колесного ворошителя	Туннельное компостирование
13	Имеющаяся информация по примерам реализации	<p><b>КПО «Тимохово», Московская обл., 2021г., мощностью 150 тыс. т/г.:</b>  - летом 2021г. запах отсутствовал, технология соблюдалась;  - на 24.11.2022г. ввиду несоблюдения технологии на участке запах, низкий выход продукции.</p> <p><b>ООО"ПОЛИГОН ТБО", Челябинская обл., 2022г., мощностью 80-120 тыс. т/г.:</b>  Строительство участка завершено, объект не запущен в эксплуатацию, по данным электронных площадок, закупки на поставку оборудования не состоялись.</p>	<p>Внедрение данной технологии компостирования запроектировано и находится на разной стадии реализации в следующих регионах (с входящей мощностью):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Хакасия – 126 тыс. т/г.</li> <li>- Ростов-на-Дону – 300 тыс. т/г.</li> <li>- Адыгея – 75 тыс. т/г.</li> <li>- Калмыкия – 75 тыс. т/г.</li> <li>- Минводы – 50 тыс. т/г.</li> <li>- Омск – 200 тыс. т/г.</li> <li>- Белгород – 100 тыс. т/г.</li> <li>- Кемерово – 86 тыс. т/г.</li> <li>- Санкт-Петербург – 250 тыс. т/г.</li> <li>- Уфа – 15 тыс. т/г.</li> <li>- Томск – 126 тыс. т/г.</li> <li>- Киров – 90 тыс. т/г.</li> <li>- Новочеркасск – 126 тыс. т/г.</li> </ul>	<p><b>ООО «Компания «РИФЕЙ», Свердловская обл., мощностью 50 тыс. т/г.:</b>  07.09.22г. заключен договор на проведение экспертизы по разделу (смета на строительство объектов капитального строительства) проектной документации.</p> <p><b>КПО «Югра» в г. Нягань, ХМАО: мощность – 35 тыс. т/г..</b></p>