

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»

*На правах рукописи*

Малюхин Дмитрий Михайлович

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОРГАНОГЕННЫХ  
СУБСТРАТОВ ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ  
КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология

Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук

Научный руководитель:  
доктор биологических наук,  
профессор А.В. Селиховкин

Санкт-Петербург – 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Рекультивация полигонов ТКО как элемент системы обращения с отходами.....	10
1.1. Проблема накопления и переработки ТКО на общемировом уровне.....	10
1.2. Способы обезвреживания ТКО.....	13
1.2.1. Термическая переработка ТКО (сжигание) .....	13
1.2.2. Рециклинг отходов.....	16
1.2.3. Компостирование (биоферментация) отходов.....	19
1.3. Воздействие полигонов ТКО на качество окружающей среды.....	23
1.4. Рекультивация полигонов ТКО.....	29
1.5. Использование органогенных субстратов при рекультивации.....	32
1.5.1. Осадки сточных вод.....	34
1.5.2. Компосты из ТКО.....	44
1.5.3. Кофейный жмых.....	46
2. Объекты и методы исследования.....	49
2.1. Объекты исследования.....	49
2.1.1. Характеристика территории полигона ТКО, подлежащего рекультивации.....	49
2.1.2. Характеристика органогенных субстратов, используемых при рекультивации.....	61
2.2. Методы исследования.....	63
3. Изменение санитарно-гигиенических показателей природных сред вследствие рекультивации полигона ТКО.....	70
3.1. Изменение санитарно-гигиенических показателей почвогрунтов санитарно-защитной зоны рекультивируемого полигона ТКО.....	70
3.2. Изменение санитарно-гигиенических показателей природных вод рекультивируемого полигона ТКО.....	73

3.3. Изменение санитарно-гигиенических показателей атмосферного воздуха рекультивируемого полигона ТКО.....	80
4. Экологическая характеристика новых органоменных субстратов, используемых для рекультивации полигона ТКО г. Гатчина.....	83
4.1. Агрохимические свойства органоменных субстратов.....	83
4.2. Санитарно-химическая характеристика органоменных субстратов.....	93
4.3. Изменение токсикологических характеристик органоменных субстратов при самозарастании рекультивированного полигона ТКО.....	97
4.3.1. Оценка фитотоксичности органоменных субстратов.....	98
4.3.2. Изучение токсичности водных вытяжек из субстратов для гидробионтов.....	102
4.4. Особенности температурного режима корнеобитаемого слоя исследуемых субстратов в течение вегетационного периода.....	108
5. Начальные этапы формирования растительного покрова на различных типах субстратов при рекультивации полигона ТКО г.Гатчина.....	115
5.1. Формирование растительного покрова на субстрате из ОСВ.....	116
5.2. Формирование растительного покрова на компосте из ТКО.....	118
5.3. Формирование растительного покрова на субстрате из кофейного жмыха.....	126
5.4. Особенности формирования надземной биомассы растений на разных субстратах.....	129
5.5. Санитарно-химическая оценка растительности на органоменных субстратах.....	131
<b>ВЫВОДЫ.....</b>	<b>135</b>
Рекомендации по использованию результатов выполненных исследований при рекультивации полигонов ТКО.....	137
Список литературы.....	138

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время остро стоит проблема рекультивации объектов размещения отходов, исчерпавших свои лимиты или не отвечающих современным экологическим, санитарно-гигиеническим и технологическим требованиям и, как следствие, оказывающим значительное негативное воздействие на окружающую среду (Амосов др., 2000; Венцюлис и др., 2007; Витковская, 2011; Журкович, Потапов, 2001; Примак, 2017; Voer, 2005; Gentil, 2009 и др.).

Одной из основных экологических и экономических проблем при рекультивации является дефицит почвогрунтовых ресурсов для создания рекультивационных покрытий. При этом для рекультивации 1 га полигона требуется до 10 тыс. м<sup>3</sup> почвенно-растительного грунта, что соответствует нарушению 5 га природных земель, т.е. до 5 раз может превышать площадь рекультивируемого объекта (Жилинская, 2010). С целью экономии природных ресурсов и ускорения биологических процессов при проведении рекультивационных работ почва может быть заменена органогенными субстратами из отходов производства и потребления (Архипченко, 2018; Капелькина, 2015; Wang, 2004;). Возможность замены первичных ресурсов (почв) вторичными, полученными путем переработки отходов, определяется высоким биологическим потенциалом вышеупомянутых субстратов, а также их относительной экологической безопасностью (при условии соблюдения надлежащих технологий). В настоящий момент возможность использования органогенных субстратов в значительной степени ограничена, в частности из-за отсутствия законодательного регулирования, недостаточной изученности как самих субстратов, так и влияния их на окружающую среду, а также из-за возможных превышений допустимых значений различных видов поллютантов (Жилинская, 2010; Капелькина и др., 2009; Найман, 2005; Орлова и др., 2005; Опекунова и др., 2019 и др.). В то же время использование вышеупомянутых субстратов в качестве рекультивационного материала могло бы быть одновременным решением проблемы их утилизации и позволило бы избежать необходимости использования плодородного слоя почв.

Кроме того, проблеме переработки отходов и рекультивации нарушенных земель посвящены работы ведущих научно-исследовательских и педагогических учреждений не только РФ (Санкт-Петербургский государственный университет, Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности Российской академии наук, Московский государственный университет, Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова и др.) но и других стран (Германия, Австрия, Швеция, Финляндия, Голландия и др.).

Таким образом, научное обоснование использования ресурсного потенциала органогенных субстратов из отходов пищевой промышленности (кофейный жмых) и коммунального хозяйства (твердых коммунальных/бытовых ТКО/ТБО (далее - **ТКО**) отходов, осадков сточных вод (**ОСВ**) для рекультивации нарушенных земель, особенно полигонов ТКО, является актуальной геоэкологической задачей. Обозначенный круг проблем определил цель настоящей работы и задачи исследования.

**Объект исследования:** органогенные субстраты (кофейный жмых, компост из ТКО, ОСВ), использованные на полигоне ТБО при его рекультивации в качестве плодородного слоя.

**Предмет исследования:** начальные процессы формирования и функционирования экосистем при рекультивации полигонов с использованием исследуемых органогенных субстратов.

**Цель работы** - дать экологическую оценку органогенных субстратов - отходов пищевой промышленности и коммунального хозяйства - и оценить эффективность их использования в качестве плодородного грунта при проведении рекультивации полигонов ТКО.

**Задачи исследования:**

1. Проанализировать санитарно-гигиеническое состояние природных сред (почв, поверхностных вод и атмосферного воздуха) на территории объекта рекультивации (полигона ТКО) и его санитарно-защитной зоны (СЗЗ) до начала рекультивации и в последующие годы;

2. Дать агрохимическую и санитарно-химическую характеристику используемых органогенных субстратов;

3. Изучить токсикологические параметры субстратов и их изменение в течение периода наблюдений;

4. Выявить особенности изменения температуры корнеобитаемого слоя субстратов в течение вегетационного периода;

5. Изучить закономерности процессов самозаращения субстратов, использованных при рекультивации полигона ТКО (видовое разнообразие, проективное покрытие, величина надземной биомассы);

6. Исследовать содержание тяжелых металлов, в растениях, выросших на исследуемых субстратах при рекультивации полигона ТКО.

**Соответствие диссертации паспорту специальности.** Тема диссертационной работы соответствует паспорту специальности 25.00.36 - «Геоэкология»:

- п.1.7 Междисциплинарные аспекты стратегии выживания человечества и разработка научных основ регулирования качества состояния окружающей среды.

- п.1.8 Природная среда и геоиндикаторы ее изменения под влиянием урбанизации и хозяйственной деятельности человека: химическое и радиоактивное загрязнение почв, пород, поверхностных и подземных вод и сокращение их ресурсов, наведенные физические поля, изменение криолитозоны.

- п.1.9 Оценка состояния, изменений и управление современными ландшафтами.

- п.1.10. Разработка научных основ рационального использования и охраны водных, воздушных, земельных, рекреационных, минеральных и энергетических ресурсов Земли, санация и рекультивация земель, ресурсосбережение.

### **Научная новизна.**

1. Впервые выполнена комплексная геоэкологическая оценка использования органогенных субстратов из компоста и др. отходов в качестве плодородных грунтов, позволившая рекомендовать их для формирования рекультивационного покрытия полигонов.

2. Впервые произведено сопоставление исследуемых субстратов по важнейшим агрохимическим показателям, получены их количественные характеристики, что может быть использовано для управления процессом зарастания рекультивационного слоя.

3. Впервые изучена динамика изменения токсикологических показателей субстратов в течение времени самозарастания на опытных площадках, определены сроки детоксикации и перехода субстрата в экологически безопасное состояние.

4. Впервые выявлены основные закономерности процессов самозарастания исследуемых субстратов различных сроков экспонирования по видовому разнообразию, проективному покрытию и величине надземной биомассы, что позволяет прогнозировать эффективность рекультивационных работ.

5. Впервые определена степень загрязнения образцов тканей сорных и культурных растений, выросших на исследуемых субстратах, тяжелыми металлами и другими загрязняющими веществами; установлено, что сорные растения более устойчивы к загрязнению и практически не содержат тяжелых металлов.

#### **Защищаемые положения:**

1. Изученные органогенные субстраты из отходов производства и потребления принципиально пригодны с точки зрения экологической безопасности для использования в качестве плодородного слоя при рекультивации полигонов ТКО.

2. Использование органогенных субстратов - компост из ТКО и ОСВ позволяет в короткие сроки (2-3 года) добиться формирования фитоценозов с повышенной надземной биомассой и 100% проективным покрытием путем самозарастания после проведения рекультивации.

3. Предложенный комплекс методов геоэкологической оценки органогенных субстратов из отходов производства и потребления позволяет получать достоверные результаты о пригодности подобных грунтов для рекультивации нарушенных земель.

4. При рекультивации полигонов ТКО допустимо ограничиться только проведением технического этапа при использовании органогенных субстратов из

отходов производства и потребления, который обеспечивает активное самозаращение рекультивированной поверхности полигона.

**Практическая значимость.** Результаты работы могут быть использованы при планировании, проектировании и проведении рекультивационных работ объектов накопленного экологического ущерба, в частности полигонов ТКО. Агроэкологическая и санитарно-химическая характеристика новых видов органометрических субстратов может служить основой при выборе плодородного грунта, используемого вместо гумусовых горизонтов почв при рекультивации. Токсикологические исследования могут быть использованы для оценки динамики процессов детоксикации при самозаращении рекультивированных полигонов ТКО. Выявленные закономерности процессов самозаращения субстратов могут служить основой при планировании формирования экологически безопасных экосистем на нарушенных территориях, подлежащих рекультивации.

**Апробация работы.** Основные положения работы были доложены более чем на 10 конференциях: на Международной научной конференции «Современное состояние почвоведения и агрохимии, пути их решения» (Алматы, 2015); на научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017» (Севастополь, 2017); на международной научной конференции «Экологические проблемы недропользования. Наука и образование. (СПб, 2018) и др.

**Публикации.** Материалы диссертации изложены в 14 статьях, опубликованных в научных изданиях РФ, в том числе 6 из них – в журналах из Перечня ВАК, а также в 8 сборниках материалов международных конференций.

**Объем работы.** Диссертация изложена на 165 страницах, состоит из 5 глав, содержит 30 таблиц и 24 рисунка. Список литературы включает 263 наименований, из них 82 на иностранных языках.

**Личный вклад соискателя.** При активном участии автора были сформулированы цели и задачи исследований, разработана программа опытно-экспериментальных работ, проведен ряд лабораторных модельных экспериментов, систематизированы и интерпретированы экспериментальные данные, сделаны



выводы по результатам работы. Работы по закладке опытных участков рекультивации полигона ТКО проводились под непосредственным руководством автора. Отбор проб почв (грунтов, субстратов), поверхностных вод и растений осуществлялся автором. Общий личный вклад соискателя в объеме диссертационного исследования составляет не менее 75%. Доля личного участия в опубликованных научных трудах, в том числе в статьях, рекомендованных ВАК, составляет не менее 55%.

**Благодарности.** Хочется выразить огромную благодарность научному руководителю д.б.н., профессору А.В. Селиховкину, д.б.н. Л.Г. Бакиной, без участия которой данная работа не появилась бы на свет, д.б.н., проф. Э.И. Слепяну привившего мне вкус к науке. Отдельная благодарность моим родным и близким за терпение и понимание.

## **1. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ПОЛИГОНОВ ТКО КАК НЕОТЪЕМЛЕМЫЙ ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ**

### **1.1. Проблема накопления и переработки ТКО на общемировом уровне**

Известно, что одной из наиболее острых проблем в сфере экологической безопасности, по сути, общемировой проблемой, является проблема отходов производства и потребления, в том числе твердых бытовых отходов (ТБО/ТКО). Под отходами производства подразумевают то, что образовалось в результате функционирования основных промышленных областей – добычи и обогащения полезных ископаемых, энергетики, металлургии, химии и коксохимии, машиностроения и металлообработки, деревообработки и целлюлозно-бумажного производства, легкой промышленности, строительной индустрии и т.п. На эту группу приходится 90% объема твердых отходов. Остальные 10% составляют отходы потребления, чаще называемые твердыми коммунальными отходами (ТКО).

Согласно ГОСТ 30772–2001 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения», к отходам потребления относят «остатки веществ, материалов, предметов, изделий, товаров, частично или полностью утративших свои первоначальные потребительские свойства». Там же отмечается, что к этой категории отходов следует относить не только ТКО, образующиеся в домовладениях, «но и отходы, образующиеся в офисах, торговых предприятиях, мелких промышленных объектах, школах, больницах, других муниципальных учреждениях». Такое определение соответствует зарубежному термину «твердые муниципальные отходы» (Municipal solid waste). Юридической основой для классификации ТКО в России служит Федеральный классификационный каталог отходов (2002), который классифицирует отходы по происхождению, агрегатному состоянию и опасности, используя термин «твердые коммунальные отходы». Последние образуются как непосредственно в домашних хозяйствах, так и в коммунальной сфере. Основные компоненты отходов потребления – использованная упаковка, пищевые остатки, отработанные товары и материалы (в

том числе опасные – аккумуляторы, батарейки, ртутные и обычные лампы накаливания, бытовая химия), изношенные автомобильные шины, уличный мусор, срезанные ветви, листья и т.п. (Дрейер и др., 1997; Иванова и др., 2016).

Очевидно, что состав ТКО зависит от климатической зоны, сезона и типа поселения. Средний процентный состав компонентов ТКО, характерный для крупных городов России, показан на диаграмме (рис. 1.1). Согласно приведенным данным, в среднем доля органической составляющей ТКО (пищевые отходы и т.д.) составляет около 30%, остальное составляют макулатура, пластик, текстиль, металлы и др.

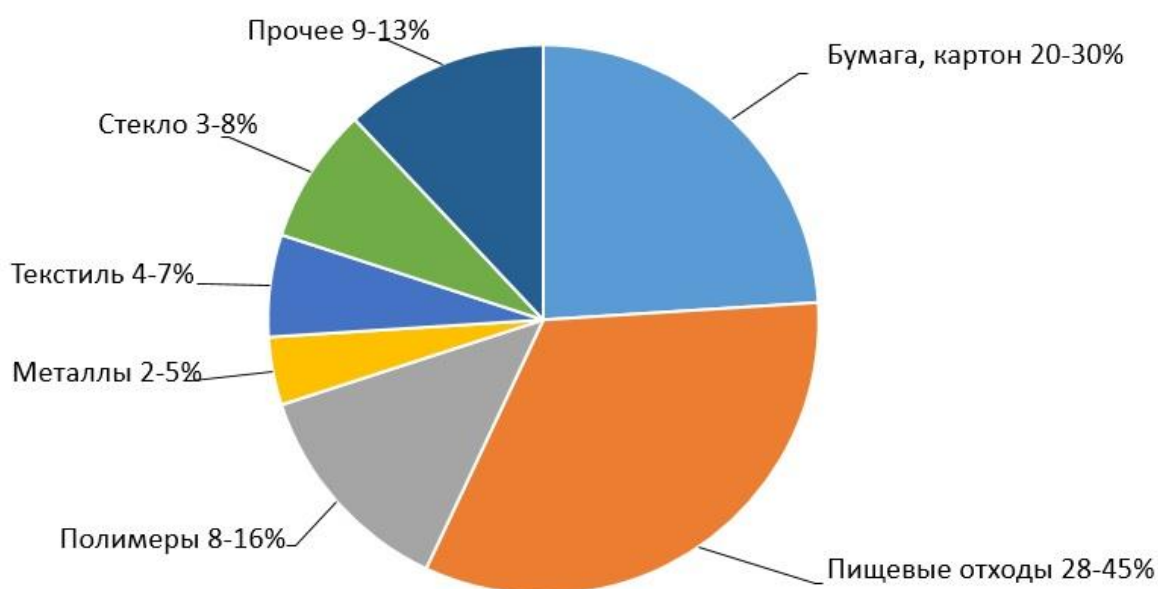


Рисунок 1.1 – Усредненный состав ТКО, характерный для крупных городов центральной части России (Абрамов, 2009)

В последние годы в России, как и во всем мире, наблюдается неуклонный рост образования твердых коммунальных отходов. Ежегодно в России образуется порядка 35-40 млн.тонн ТКО или в объемных единицах порядка 200 млн.м<sup>3</sup>, что составляет около 10 % от всех ежегодно образующихся отходов. Следует отметить, что указанный объем отходов образуется только от населения, но поскольку ТКО

образуются от предприятий малого и среднего бизнеса, нежилого фонда, крупных производств и т.д., реальная цифра гораздо больше (Иванова, 2016).

Прирост образования ТКО увеличивается очень быстрыми темпами - от 3 до 12 % в год в различных странах. В ТКО непрерывно возрастает доля бумаги, пластмасс, синтетических пленок, боя люминесцентных ламп, остатков пищевых продуктов. Исследования показывают, что небольшая семья производит в расчете на одного человека больше мусора, чем многочисленная, однако именно небольшие семьи становятся все более типичными (Пыриков А.Н. и др., 2012). Растущее население, изменение структуры потребления усложняют решение проблемы утилизации отходов. По данным Европейского агентства по окружающей среде, в 2007 году в Европе образовалось в среднем 516 кг ТКО в расчете на одного человека (Municipal Waste, 2010). По различным странам и населенным пунктам этот показатель колеблется от 150 до 750 кг/год, а в урбанизированных районах достигает 1000 кг на душу населения в год.

Образование отходов в России составляет 3,4 млрд. тонн в год, в том числе 2,6 млрд. тонн в год составляют промышленные отходы, 700 млн. тонн в год жидкие отходы птицеводства и животноводства, 35-40 млн. тонн в год твердые коммунальные отходы (ТКО), 30 млн. т /год осадки очистных сооружений (осадки сточных вод, ОСВ). Средний уровень их использования составляет около 26 %, в том числе промышленные отходы перерабатываются на 35 %, ТКО на 3-4 %, остальные отходы практически не перерабатываются. В результате низкого уровня использования продолжается накопление отходов в природной среде. Согласно оценкам НИЦПУРО, объемы накопления неиспользуемых отходов достигли 80-90 млрд. тонн (Девяткин, 2009).

По сведениям Росприроднадзора, Санкт-Петербург сейчас производит порядка 2 млн. твердых коммунальных отходов в год, Ленинградская область – 900 000 тонн. Для приема этого мусора в Ленинградской области официально существуют 17 полигонов. По сведениям Государственного экологического

надзора, на территории области функционируют около 2000 несанкционированных свалок, из них постоянных и крупных, по разным данным, от 150 до 200 (Недвижимость и строительство Петербурга, 2016).

## **1.2. Способы обезвреживания ТКО**

Известно, что стратегия устойчивого развития предусматривает использование всех возможных методов обезвреживания отходов. Однако, несмотря на то, что в последние десятилетия проблема обращения с отходами является одной из основных экологических проблем, ни в одной стране мира она не решена окончательно (Environmental indicator..., 2012). Практический опыт переработки ТКО в различных странах показывает, что не существует какого-либо одного универсального метода, удовлетворяющего современным требованиям экологии, экономики, ресурсосбережения и рынка (Municipal Waste, 2010; Шубов и др., 2000).

В настоящее время наиболее широко используются следующие методы обезвреживания твердых коммунальных отходов (ТКО): мусоросжигание, компостирование рециклинг, захоронение на полигонах ТКО (Шубов и др., 2011). На рисунке 1.2 приведена структура объемов утилизации и обезвреживания ТКО различными способами в странах ЕС, США и России.

Рассмотрим важнейшие способы обращения с ТКО более подробно.

### **1.2.1. Термическая переработка ТКО (сжигание)**

В мировой практике основной тенденцией решения проблемы обращения с ТКО является вовлечение их в промышленную переработку и утилизацию, что снижает поток отходов на захоронение (Municipal Solid Waste..., 2000; Waste to Energy..., 2016). Соответствующая техническая политика в первую очередь стала проводиться в странах с малой площадью и высокой плотностью населения. Для обоснования методов промышленной переработки была в то время разработана

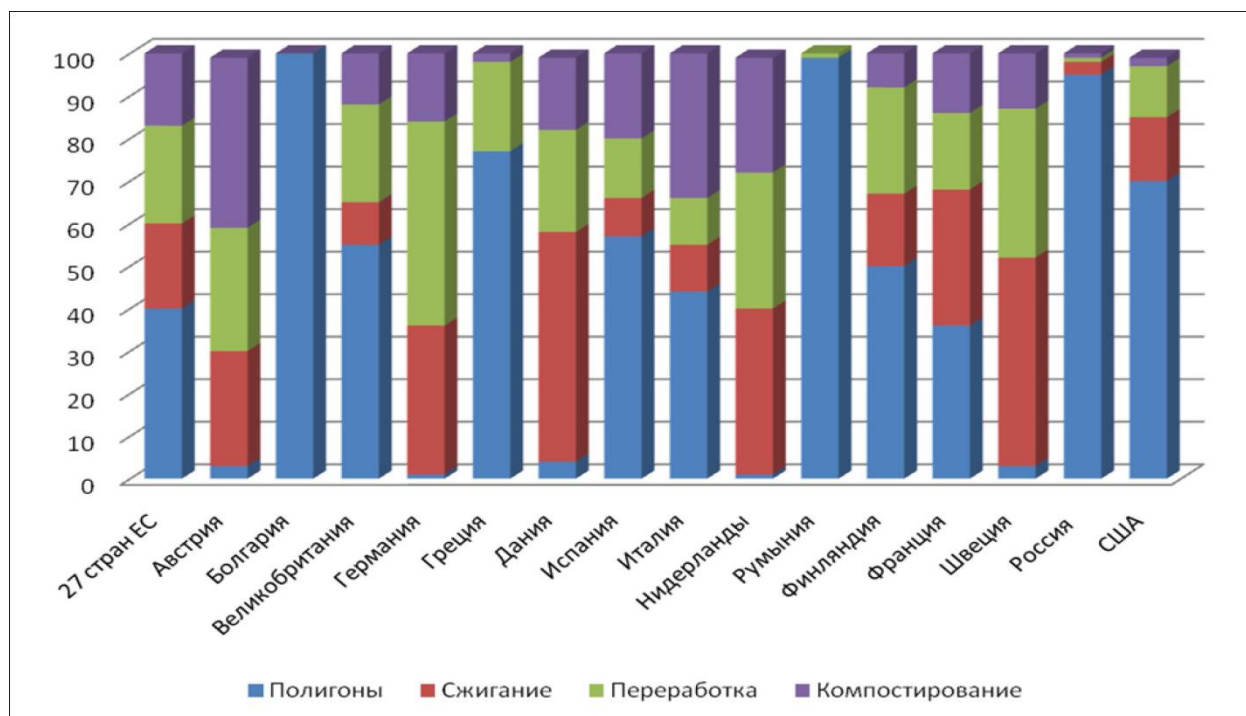


Рисунок 1.2 – Способы обезвреживания ТКО в разных странах, % (Лебедев и др., 2005; Венцюлис и др., 2007; Municipal Waste, 2010)

концепция «waste-to-energy» ("отходы - в энергию"). Она рассматривала отходы как источник возобновляемой энергии. Соответственно упор был сделан на термическую переработку ТКО, в основном на сжигание, которое стали рассматривать как важный вклад в переход от использования ископаемого топлива к производству возобновляемой энергии (Демина, 2005). Достоинства и недостатки этого метода обезвреживания отходов подробно рассмотрены в монографиях (Венцюлис и др., 2007; Витковская, 2012). Постепенно выяснилось, что вложение больших средств в строительство мусоросжигательных заводов (МСЗ) не позволяет существенно сократить поток ТКО на захоронение (Gentil et al., 2009). Срок службы МСЗ не превышает, как правило, 25 лет, а количество образовавшихся ТКО ежегодно увеличивается на 3%. Прямое сжигание неподготовленных, несортированных ТКО - самый затратный и экологически небезупречный вариант решения проблемы (Wilson, 2007, Горбачева, 2009). При сжигании ТКО образуются опасные отходы: летучая зола; смесь газов, которые с атмосферными осадками неизбежно возвращаются на земную поверхность,

загрязняя почву и воды. Более того, зола по массе составляет 27 – 33 % от общего объема ТКО направленных на сжигание.

Практика сжигания мусора привела к открытию в составе дымовых газов диоксинов (полихлордибензодиоксинов) и родственных им производных фуранов (полихлордибензофуранов). Известно, что все процессы термической переработки углеродистых отходов представляют техногенную опасность в связи с образованием токсичных веществ, среди которых наиболее опасна группа галогенированных органических соединений — диоксинов. Однако и простое скопление ТКО на свалках и полигонах являются источниками диоксинов и диоксиноподобных веществ вследствие образования газов, самовозгорания и образования фильтрата, попадающего в почву и подземные воды. Серьезное внимание к проблеме загрязнения диоксинами воды, почвы и атмосферы и, что особенно важно, к проведению научного анализа возможностей снижения диоксиновой опасности и исследованиям связанных с этих вопросов экологической безопасности, стали уделять в странах СНГ не более двадцати лет назад (Барышева, Хабибуллин, 2012). Однако западные ученые подняли эту острейшую проблему намного раньше (Rappe et al, 1989; Luetzke, 1987; Thoma et al, 1986; Nutzinder, Thoma, 1987).

Диоксины, обозначаемые часто как «химический СПИД», представляют стойкие кумулятивные, то есть накапливающиеся в пищевых цепочках, яды, оказывающие на организм мутагенное, иммунодепрессантное и канцерогенное воздействие. Фураны также опасны для жизни, хотя и в гораздо меньшей степени, чем диоксины (Бертонкс, Радд, 1980; Венцюлис и др., 2007). Эти выявленные последствия мусоросжигания вызывали негативное отношение к этому виду обезвреживания отходов, что вызвало закрытие мусоросжигательных заводов в Германии, Великобритании, США и других странах (Витковская, 2012).

Однако в последнее время, в связи с совершенствованием технологии процесса сжигания, значительно снизился прессинг МСЗ на окружающую среду. Так, по данным американского Агентства по защите окружающей среды, годовая

эмиссия диоксинов всех 87 американских мусоросжигающих предприятий составила к 2000-му году только 0,1% от уровня 1987-го года, что связано со сжиганием мусора при температуре 950°C, поскольку даже кратковременное воздействие (но не менее 2 секунд) нагревания при такой температуре приводит к деструкции молекул диоксинов (Варехов, 2012). Также эффективными факторами уменьшения образования диоксинов является предварительное выделение из потока ТКО пластмассы и бумаги с получением так называемого RDF топлива и последующим применением бескислородного метода термической переработки. Обезвреживание диоксинов, выделившихся с летучими компонентами, достигается при высокотемпературном нагреве и непродолжительной выдержке при высоких температурах. Предотвращение нового синтеза диоксинов при охлаждении и их выделение обеспечивается путем сорбции и фильтрации газов.

Таким образом, сжигание ТКО как метод обезвреживания и сокращения объемов ТКО, до настоящего времени не утратил своей легитимности и используется как в нашей стране, так и за рубежом.

### **1.2.2. Рециклинг отходов**

Еще одним видом переработки отходов является рециклинг (англ. recycling) – повторное использование или возвращение в оборот отходов производства или мусора. Анализ тенденций обращения с ТКО за последние 20 лет свидетельствует об устойчивой тенденции к снижению объемов захоронения отходов. Так, целью Директивы по полигонам захоронения отходов ЕС N 1999/31/ЕС является уменьшение количества захораниваемых отходов за счет введения ограничений по содержанию биоразлагаемых отходов и запрета захоронения предварительно необработанных отходов. Наиболее распространена вторичная переработка в том или ином масштабе таких материалов как стекло, бумага, металлы (алюминий, железо и др.), асфальт, ткани и различные виды пластика. Наиболее интенсивно рециклинг отходов развивается в Японии, США, Германии, Швеции, Финляндии, Южной Корее. Так, в Японии строят Общество правильного материального цикла



(Sound Material Cycle Society), в Южной Корее воплощают в жизнь Стратегию зелёного развития (Green Growth Strategy), в Китае принято законодательство по продвижению Экономики замкнутого цикла (Circular Economy – экономика, основанная на возобновлении ресурсов). В США ещё в 1993 г. доля вторичного сырья в производстве цветных металлов составляла по меди – 55%, вольфраму – 28%, никелю – 25% (Рециклинг отходов, 2015). В резолюции Генеральной Ассамблеи ООН «Будущее, которого мы хотим» от 24 июля 2012 г. особое место уделяется борьбе с отходами. Здесь прямо заявляется о важности принятия концепций, призванных добиваться ресурсосберегающего потребления и производства, экологически безопасного удаления и вторичного использования отходов (Material resources..., 2012). Многочисленными исследованиями подтверждается экологическая и экономическая целесообразность рециклинга отходов (Li et al., 2007; Peng et al., 2012; Were et al., 2012; Gottesfeld, Pokhrel, 2011; Zeng et al., 2014)

Россия в настоящее время пока еще является аутсайдером в отношении создания отрасли по воспроизводству материальных и энергетических ресурсов путём рециклинга отходов и вторичного сырья, хотя определенные успехи можно отметить и у нас (Гарин, 2004; Варехов, 2012). Общеизвестной становится точка зрения, что одним из важных направлений в области формирования комплексной системы обращения с твердыми бытовыми отходами является необходимость внедрения в практику европейских механизмов селективного сбора ТКО в городах, ориентированного на отдельный сбор различных видов отходов, выделение вторичного сырья с возможностью его повторного использования или переработки, выделение опасных видов отходов из общего потока ТКО, накапливаемых населением (Анопченко и др., 2014). В 2014 году принят новый закон № 458-ФЗ, признающий необходимость рециклинга отходов. С 2006 г. издается журнал «Рециклинг отходов» который освещает тематику обращения с отходами производства и потребления в России, СНГ и за рубежом, а с 2008 г. проводится Международная научно-практическая конференция «Рециклинг отходов». В научных исследованиях, посвященных проблемам рециклинга, подчеркивается,

что одним из важных направлений в области формирования комплексной системы обращения с твердыми бытовыми отходами является необходимость внедрения в практику европейских механизмов селективного сбора ТКО в городах, ориентированного на отдельный сбор различных видов отходов, и выделение вторичного сырья с возможностью его повторного использования или переработки, выделение опасных видов отходов из общего потока ТКО, накапливаемых населением (Анопченко и др., 2014). При этом отбор технологических проектов использования отходов производства и потребления необходимо проводить с учетом как экономических, так и экологических факторов (Кусраева, 2009). Загрязнение территорий можно уменьшить, если перед захоронением выбрать из отходов нужное вторсырьё: макулатуру, пластмассу, текстиль, черные и цветные металлы и др. Специальные мусоросортировочные комплексы позволяют, таким образом, в 3-4 раза уменьшить объём ТКО, вывозимых на полигоны и получить доход от продажи вторичного сырья. Однако при всем многообразии предлагаемых технологий отходоперерабатывающая отрасль пока остается не самой привлекательной для инвестиций, а вторичное сырьё оказывается, как правило, дороже первичного. Поэтому, согласно данным Росприроднадзора, в России только 4-5% ежегодно образующихся ТКО (около 35–40 млн. т) вовлекаются в переработку, а все остальное размещается на полигонах ТКО, санкционированных и несанкционированных свалках (Пронько и др., 2017).

Столь низкий процент вовлечения ТКО в переработку связан как с отсутствием необходимой инфраструктуры, так и самих предприятий-переработчиков, которых по стране в соответствии с данными, представленными территориальными органами Росприроднадзора, насчитывается всего около 400.

Именно поэтому анализ системы утилизации и переработки ТКО в Российской Федерации показывает, что основной стратегией в области управления ТКО является не переработка, а захоронение на полигонах, несмотря на то, что данный вид обращения с отходами является наименее предпочтительным согласно принятой иерархии методов (Барцев и др., 2013). Поэтому полигоны остаются и еще долгое время будут оставаться необходимым звеном в любой системе

управления отходами (Журкович, Потапов, 2001; Королев и др., 2001; Венцюлис и др., 2007; Salem, Lettieri, 2009; Зеньков и др., 2013; Капелькина и др., 2015). В России при сложившихся экономических и природоохранных условиях ближайшие 20 лет захоронение на полигонах останется основным направлением обращения с твердыми бытовыми отходами.

### **1.2.3. Компостирование (биоферментация) отходов**

Как альтернатива сжиганию в мировой практике развивались биотермические методы переработки ТКО, или компостирование (по названию конечного продукта ферментации - компоста, используемого в сельском хозяйстве, зеленом строительстве и т.д.). Исследованию процессов ферментации или компостирования ТКО посвящена обширная литература (Schulz, Romheld, 1997; Мирный, 1995; Орлова и др., 2005, 2008; Краева и др., 2010; Романов и др., 2013; Витковская, 2012; Мухортов, Романов, 2013; Сеницына, Решетникова, 2015; Корчевская, 2016). Анализ современного состояния переработки отходов показывает, что биоферментация органических отходов с получением компостов является одним из наиболее перспективных направлений обращения с отходами.

Ферментация - это биохимический процесс разложения органической части отходов микроорганизмами. Как биохимический процесс он лимитируется микробными популяциями и факторами внешней среды. На первой стадии путем биохимического расщепления (гидролиза) высокомолекулярные соединения разлагаются до низкомолекулярных (например, целлюлоза до глюкозы). На второй стадии глюкоза может быть полностью окислена до получения углекислого газа и воды при аэробных условиях с выделением тепла в количестве 688 Ккал/моль глюкозы. Первая стадия характеризуется ускоренным развитием мезофильных микроорганизмов, которые в результате жизнедеятельности выделяют тепло и разогревают ТКО до температуры 25–35°C. Вторая стадия характеризуется ускоренным развитием термофильных микроорганизмов и выделением тепла в результате разложения более широкого спектра органических веществ. При этом за счет большого выделения тепла температура в среде ТКО поднимается до 60–

75°C. Такая температура губительна для патогенных микроорганизмов. Эта особенность аэробного микробиологического процесса разогревать ТКО в короткие сроки используется для их обеззараживания. Патогенные микроорганизмы – возбудители туберкулеза, тифа, дизентерии, холеры – при температуре 55-60°C погибают в среде ТКО в течение 5-80 минут (Синицына, Решетникова, 2015). Третья стадия характеризуется медленным снижением температуры в среде ТКО, что свидетельствует об использовании легкоразлагаемых органических соединений. На этой стадии происходит не только разложение органики, но и ее синтез с образованием гуминовых соединений, улучшающих качество органических удобрений.

Постепенно по мере использования запасов кислорода в порах ТКО активность аэробных процессов падает и в складываемых ТКО начинают преобладать анаэробные процессы, вызываемые деятельностью анаэробных микроорганизмов. Сбраживание без доступа кислорода также происходит в несколько стадий. В реальных условиях разложения рядовых ТКО основными продуктами разложения являются метан ( $\text{CH}_4$ ), а также сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ ), аммиак ( $\text{NH}_3$ ), водород ( $\text{H}_2$ ).

Наилучший контакт между органическим веществом и микроорганизмами обеспечивается при перемешивании материала, в результате саморазогрева которого в процессе ферментации происходит уничтожение большинства болезнетворных микроорганизмов, яиц гельминтов, личинок мух. Для ускорения созревания компостов применяют нагревание (Yong Xiao et al., 2009) и принудительную аэрацию (Kulcu, Yaldiz, 2004). В некоторых случаях для кондиционирования отходов с успехом применяют процесс ускоренного биокамерного компостирования ТКО (Galitskova et al., 2014; Евдокимов и др., 2015), добавляют активирующие добавки на основе микробиологических препаратов (Орлова и др., 2008), различные сорбенты, в том числе растительного происхождения (Краева и др., 2010).

По результатам исследований (Roth, 1994; Малюхин и др., 2016), на начальной стадии ферментации происходит минерализация смеси, о чем свидетельствует уменьшение общего содержания углерода органического вещества и гуминовых кислот. В последующем образующаяся органогенная масса становится более гумифицированной, и в зрелом состоянии характеризуется глубиной и степенью гумификации, свойственной дерново-подзолистым почвам. Установлено, что гуминовые вещества компостов из ТКО обладают ярко выраженным стимулирующим действием на рост и развитие растений (Орлова, Архипченко, 2009). В итоге законченного процесса ферментации масса биоразлагаемого материала уменьшается почти вдвое и получается твердый стабилизированный продукт (Синицына, Решетникова, 2015).

Компостирование ТКО в мировой практике развивалось как альтернатива сжиганию (первый завод в Европе по компостированию ТКО был построен в 1932 г. в Нидерландах). Экологической задачей компостирования можно считать возвращение части отходов в круговорот природы.

Наиболее интенсивно компостирование ТКО развивалось с конца 60-х до начала 80-х годов преимущественно в странах Западной Европы (Италия, Франция, Нидерланды). В Германии пик строительства заводов пришелся на вторую половину 80-х годов - в 1985 г. в компост перерабатывали 3% ТКО, в 1988 г. - около 5% (Municipal Waste..., 2010; Вайсман и др., 2001). Интерес к компостированию вновь повысился в середине 90-х годов на основе вовлечения в переработку не ТКО, а селективно собранных пищевых и растительных отходов, а также отходов садово-паркового комплекса (термическая переработка этих отходов затруднена из-за большой влажности, а захоронение связано с интенсивным образованием фильтрата и биогаза). В европейской практике к 2000 г. с применением аэробной ферментации ежегодно перерабатывали около 4,5 млн. т отходов более чем на 100 заводах (из них в 1992-95 гг. построено 60 заводов).

В странах СНГ прямое компостирование исходных ТКО применяют на девяти заводах: в Санкт-Петербурге (первый завод в бывшем СССР, построен в 1971 г.; в конце 1994 г. в Санкт-Петербурге введен в строй второй завод), Нижнем

Новгороде, Минске и Могилеве, Ташкенте, Алма-Ате, Тбилиси и Баку (все заводы запроектированы институтом «Гипрокоммустрой», Могилевский - институтом «Белкоммунпроект»). В 1998 г. вошел в строй завод в Тольятти, на котором реализована предварительная, но малоэффективная сортировка ТКО.

Наиболее распространенные методы аэробной ферментации (компостирования):

- компостирование в биобарабанах;
- туннельное компостирование;
- компостирование в бассейне выдержки;
- полевое компостирование.

Биотермическая переработка ТКО позволяет уменьшить объем и массу отходов, снизить их токсичность, биологическую активность и негативное влияние на окружающую среду.

По мнению некоторых авторов, термин «компостирование» в приложении к ТКО в современных условиях не совсем удачен: по существу, речь идет о ферментации, о стабилизации состава органических компонентов (Архипченко, Орлова, 2008). Как метод биоферментация (компостирование) является перспективным способом обеззараживания субстрата, позволяющим получить ценный продукт – компост, который может быть использован в качестве органического удобрения, плодородного грунта и т.д. (ГОСТ Р 55571-2013. Удобрения органические на основе ТКО. Технические условия).

Главный фактор, препятствующий получению экологически чистого компоста – загрязнение ТКО тяжелыми металлами, которые содержатся в опасных коммунальных отходах - отработанных гальванических элементах, люминесцентных лампах и т.п. (Гумарова, 2006). Как известно, тяжелые металлы практически не подвергаются биологическому разложению, поэтому при компостировании органических отходов эти металлы могут накапливаться в компостах (Витковская, 2008; 2012; Краева и др., 2010), что, естественно, служит препятствием для использования компостов из ТКО в сельском хозяйстве, зеленом строительстве и т.д. Поэтому, по мнению некоторых авторов, прямое

компостирование ТКО нецелесообразно, (Максимова, 2004), а в ряде стран запрещено, поскольку загрязнение обычными (небиоразлагаемыми и неоксибиоразлагаемыми) пластиками, стеклом и тяжелыми металлами не допускается (Bonhomme, 2003; Chew, 2015). Поэтому во многих странах предусмотрен раздельных сбор отходов, несмотря на то, что реализация подобной практики представляет собой большую организационную и технологическую сложность. Однако в противном случае при любом способе компостирования ТКО не удастся полностью избежать потенциальной опасности попадания в компост нежелательных для здоровья человека веществ (Hicklenton et al., 2001; Boer et al., 2005; Ильиных, 2012). Поэтому компост, полученный из ТКО или из его обогащенных фракций, рекомендуется использовать не в сельском хозяйстве, а в лесных питомниках, при озеленении, рекультивации земель (в том числе после добычи полезных ископаемых), в технологии полигонного захоронения ТКО (в качестве покрывающего материала), в качестве заполнителя для покрытия заболоченных земель, для производства этанола, в качестве подготовленного топлива для производства энергии.

### **1.3. Воздействие полигонов ТКО на качество окружающей среды**

Полигоны ТКО – это комплексы сооружений природоохранного назначения, предназначенные для размещения, изоляции и обезвреживания ТКО. На всех стадиях эксплуатации и даже после закрытия полигон может представлять высокую потенциальную опасность загрязнения окружающей среды (Жиленков, 2002; Негуляева, 2005; Ашихмина 2014; Рыжакова, Масликов, 2014). По отношению к вмещающим породам и окружающим почвам свалка является резкой техногенной геохимической аномалией, загрязняющей атмосферу, породы, грунтовые воды и близлежащие водоемы (Подлипский, 2010; Пронько, 2017).

В настоящее время количество специально обустроенных мест под размещение отходов – полигонов ТКО - в целом по стране около полутора тысяч (1399), что в разы меньше, чем даже санкционированных свалок, которых насчитывается чуть больше 7 тысяч (7153). Количество несанкционированных

свалок, которые следует расценивать как уже накопленный за истекшие десятилетия прошлый экологический ущерб, по состоянию на август 2015 г. составляет около 17,5 тысяч. Все указанные объекты размещения ТКО занимают площадь порядка 50,0 тыс.га (Чайка, Сороколет, 2016).

Таким образом, на сегодняшний день в мире и в России накоплено огромное количество свалочного грунта разного возраста. Он занимает обширные территории (как правило, вблизи городов). Анализ практики складирования ТКО свидетельствует о том, что объекты захоронения являются источниками длительного негативного воздействия на окружающую среду.

Основными видами воздействия полигона ТКО на окружающую природную среду и человека, представляющими реальную опасность, являются, по мнению многочисленных исследователей, следующие:

- химическое воздействие, которое выражается в выделении вредных веществ с эмиссиями фильтрата и биогаза, а также при разносе материала отходов (замусоривание);

- термическое- связано с выделением тепла при разложении отходов, что приводит к нарушению термодинамического баланса ландшафта;

- гидродинамическое - связано с повышением уровня подземных вод вокруг полигона до 2 м по сравнению с ненарушенными условиями, может вызвать подтопления и другие нарушения гидрологического режима;

- санитарно-эпидемическое - возникает вследствие благоприятных условий для развития культур болезнетворных микроорганизмов, простейших, гельминтов;

- зооенное - выражается в распространении насекомых, крыс, привлечении птиц и животных;

- социальное - заключается в том, что действующие полигоны в их нынешнем виде создают зону риска и дискомфорта для людей, проживающих и работающих вблизи полигона.



В обобщенном виде типовые воздействия полигона ТКО на компоненты окружающей среды представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Типовые воздействия полигона ТКО на компоненты окружающей среды (цит. по: Майорова, 2012)

Компоненты ОС	Воздействие	Результаты
Атмосферный воздух	Выбросы в атмосферу пыли и газов, образующихся в процессе эксплуатации полигона ТКО (CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> и др.)	Запыление, загрязнение, загазовывание атмосферы, самовозгорание, распространение неприятного запаха аммиака, сероводорода, диоксида серы и др. летучих компонентов
Поверхностные воды	Сброс сточных и дренажных вод в поверхностные водоотводы, в т.ч. обогащенные примесью токсичных элементов, тяжелых металлов	Уменьшение запасов поверхностных водных горизонтов, изменение гидрохимических и биологических показателей поверхностных вод, ухудшение их качества
Подземные воды	Поступление солей тяжелых металлов, биоразлагаемых и устойчивых органических соединений в грунтовые воды	Ухудшение экологического состояния подземных вод, изменение химического состава подземных вод
Земли, почвы	Сооружение полигона, снятие и уничтожение плодородного слоя земли, строительство дорог и коммуникаций	Деформация земной поверхности, уничтожение почвенного покрова
Ландшафт	Занятие территории под полигон ТКО	Техногенные загрязнения ландшафта, ограничения на другие способы использования территории
Недра	Формирование техногенного рельефа, формирование техногенного горизонта подземных вод	Изменение напряженно-деформационного состояния массива горных пород, загрязнение недр, проседание земной поверхности, развитие кастовых и оползневых процессов, потеря минеральных грунтов
Животный и растительный мир	Нарушение почвенного и растительного покрова, уменьшение кормовой базы	Сокращение растительных сообществ, миграция животных, потеря биологического разнообразия природных комплексов

Под воздействием атмосферного воздуха, воды и биоты в свалочных массах протекают различные биохимические и химические реакции, в результате которых выделяется тепло, а также образуются биогаз и фильтрат. Последние являются

основными поставщиками токсичных веществ во вмещающие породы, подземные воды и приземную атмосферу. Установлено, что наиболее существенное воздействие на компоненты окружающей среды оказывают биогаз и жидкая фаза свалочных грунтов полигона (Подлипский, 2010).

Исследования российских ученых (Степаненко и др., 2009; Гонопольский и др., 2008; А.М., Негуляева Е.Ю., 2005; Вайсман и др., 2001; Подлипский, 2010; Витковская и др., 2019 и др.) посвящены прогнозной оценке образования химического состава фильтрата и разработке комплексной очистки стоков с полигонов захоронения ТКО. Этим проблемам посвящены также многочисленные труды зарубежных исследователей (Earle et al., 1999; Reinhart, 1993; Ludwing, 2003; Slack et al., 2004, 2005; Charles et al., 2010; Ojeda-Benítez et al., 2013 и др.).

Загрязнители, содержащиеся в фильтрате полигонов, различны по своей природе, а состав их чрезвычайно обширен. Однако основными компонентами жидкой фазы свалочного грунта являются органические вещества, хлориды, сульфаты, тяжелые металлы и металлоиды (Fe, Mg, Mn, Zn, Cr, Co, Pb, As, Cu, Ni, Hg и др.) и различные их производные (Журкович, Потапов, 2001; Жиленков, 2002; Ашихмина, 2014). В этой среде создаются наиболее благоприятные условия для образования комплексных соединений с тяжелыми металлами, присутствующими в отходах, возможного перевода их в растворимые формы и миграции с водными потоками в окружающую среду. Исследованиями, проведенными на полигонах ТКО Ленинградской области, была выявлена высокая токсичность проб фильтрата и свалочных масс разных глубин залегания - поверхностных и с глубины 3,5 м (Подлипский, 2010), обусловленная повышенным содержанием тяжелых металлов.

Потенциальная возможность распространения загрязнений на значительной площади очень часто реализуется на практике, особенно при несоблюдении правил складирования отходов – вплоть до образования геохимических аномалий вокруг полигонов. Так, многолетними исследованиями вокруг Саларьевского полигона ТКО в Московской области, проведенными В.А. Королевым с соавторами (2001), было установлено, что загрязнение почв наблюдается на расстоянии 160-300 м

(санитарно-защитная зона – 500 м), а также отмечено загрязнение поверхностных вод свинцом и кадмием (водоносные горизонты защищены толщиной юрских глин). Исследования, проведенные Т.В. Ашихминой в Воронежской области, показали, что в случае просачивания загрязненных фильтратами грунтовых вод в водоносные горизонты загрязнение может распространиться с водотоком на еще более значительные расстояния - до 800-900 метров, а иногда и до нескольких километров (Ашихмина, 2014). По мнению некоторых авторов, влияние полигонов (свалок) ТКО с выделяющимся фильтратом, содержащим различные загрязняющие вещества (в первую очередь, тяжелые металлы), будет длиться сотни лет (Kostarev, Sereda, 2013).

Еще одним фактором существенного влияния полигонов ТКО на окружающую среду является образование биогаза. Многочисленные данные свидетельствуют о том, что загрязнение приземного слоя атмосферы является одной из основных проблем, связанных с захоронением отходов (Municipal Waste..., 2010; Das et al., 2002; Kaschl et al., 2002; Журкович, Потапов, 2001; Венцюлис и др., 2007; Витковская, 2012). Кроме того, биохимическое разложение повышает температуру отходов до 40-70 °С, что активизирует процессы химического окисления и ведёт к дальнейшему повышению температуры (Вайсман и др., 2001). Зачастую отток тепла из толщи полигона недостаточен, что приводит к самовозгоранию отходов. Вследствие этого проблема пожаров и возгораний при эксплуатации полигонов ТКО стоит весьма остро. Пожары и возгорания возникают при достаточном количестве кислорода в толще полигон, когда помимо окисления органических компонентов происходит окисление неорганических соединений. Горение может происходить как на поверхности (открыто), так и в толще отходы (скрытое, пиролизическое горение). При скрытом горении происходит разогрев поверхностных горизонтов отходов до 155°С (Шаимова и др., 2006).

Распространение газа и неприятного запаха от мест складирования отходов происходит на расстояние до 300 - 400 метров (Мариненко и др., 2001, Максимова, 2004). Вызываемые биогазом свалок нагрузки от запаха обусловлены наличием примесей таких компонентов как сероводород, органические соединения серы

(меркаптаны), различные эфиры, алкилбензолы и др. Эти вещества с интенсивным запахом часто даже в малых количествах чувствительны и создают существенный дискомфорт для жителей близлежащих районов, в больших же количествах это может привести к негативным последствиям для здоровья проживающих в зоне воздействия.

В связи с этим в научной литературе подчеркивается необходимость постоянного мониторинга состояния окружающей среды вокруг как действующих, так и закрытых полигонов ТКО. В последние годы резко увеличилось значение картографического обеспечения в организации мониторинга полигонов и свалок ТКО на территории России (Гусев, Молочко, 2015). Применение современных технических средств дистанционного зондирования земли позволяет осуществлять периодический контроль соблюдения технологии накопления ТКО с учетом правил землепользования на полигонах, а также выявлять места несанкционированных свалок. Использование геоинформационных технологий позволяет получить представление об общем состоянии территории, степени влияния мест складирования ТКО на природу и среду обитания человека, предоставить специалистам объективную информацию для разработки мероприятий по ликвидации имеющейся антропогенной нагрузки, а также способствовать рациональному использованию селитебных территорий, охране земель и современному управлению отходами. Отмечено, что эффективная методика выявления, картографирования и мониторинга несанкционированных мест складирования отходов может выполняться на основе данных космических спутников World View-1,2, Geo Eye, Pleiades-1A1B, Quick Bird, Ikonos и др. (Шибалова, 2015).

Таким образом, несмотря на очевидные достоинства полигонного захоронения ТКО (относительно невысокая энергоемкость процесса, незначительные затраты труда и относительно невысокая стоимость размещения ТКО по сравнению с другими методами), этот метод характеризуется и несомненными недостатками. К ним можно отнести: использование значительных территории, которые выводятся из использования на десятки лет, риск загрязнения

окружающей среды при нарушении техники эксплуатации, длительный период действия активных процессов в теле полигона, продукты которых являются потенциальными загрязнителями. Однако нерентабельность переработки большинства видов размещаемых отходов, отсутствие приемлемых технологий, а также относительная дешевизна земли для размещения отходов в России по сравнению с высокоразвитыми зарубежными странами (Японией, Германией, Англией) обуславливают для российских городов приоритет размещения отходов на полигонах и свалках. По-видимому, для России размещение отходов на полигонах будет преобладающим направлением еще многие годы (Капелькина и др., 2015).

#### **1.4. Рекультивация полигонов ТКО**

В соответствии с действующей на территории Российской Федерации нормативной базой (Инструкция по..., 1996; ГОСТ 17.5.3.04-83, ТСН 11-301-2005 и др.), рекультивация является завершающим этапом эксплуатации полигонов ТКО, направленным на обеспечение санитарных и экологических требований эффективного использования земельных участков. Согласно ГОСТ 17.5.1.01-83, рекультивация закрытых полигонов представляет собой комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народнохозяйственной ценности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды в соответствии с интересами общества. Рекультивация проводится по окончании стабилизации закрытых полигонов – процесса упрочнения свалочного грунта, достижения им постоянного устойчивого состояния, причем сроки стабилизации, предусмотренные «Инструкцией по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов» (п.3.2), составляют 2-3 года. По нашим наблюдениям и данным других авторов (Капелькина, 2015), процесс стабилизации свалочных масс продолжается гораздо дольше.

Рекультивация полигонов включает в себя два этапа: технический и биологический. В соответствии с нормативными документами, технический этап рекультивации включает формирование откосов с нормативными углами наклонов, строительство дренажных систем дегазации, планировку поверхности с созданием

рекультивационного многофункционального покрытия и другие операции. Завершается технический этап рекультивации нанесением, формированием и планированием плодородного слоя, после чего участок передается для проведения биологического этапа. Биологический этап включает подбор ассортимента многолетних трав, подготовку и обработку почвы (внесение удобрений, дискование, боронование и т.д.), посев трав и уход за посевами. Необходимо подчеркнуть, что биологический этап рекультивации в настоящее время предусмотрен всеми действующими в настоящее время нормативными документами (Инструкция, 1996; МР по проведению, 1998; Территориальные, 2002).

В большинстве случаев применение биологического этапа совершенно необходимо, так как процессы самозарастания могут растянуться на несколько десятков лет. Так, Л.С. Застенским (1983) для условий Белоруссии выявлено, что при формировании рекультивационного слоя из минеральных суглинистых грунтов процессы гумусообразования происходят очень медленно, и за 15 лет образуется лишь 1,5-2 см сплошного гумусового горизонта. В экстремальных условиях северных регионов эти процессы еще более затруднены, и без специальных мероприятий биологического этапа рекультивации восстановление нарушенных ландшафтов практически не происходит (Арчегова и др., 2016). В результате обширных фитоценологических исследований убедительно показано, что естественный восстановительный потенциал растительности на нарушенных землях зависит от биоклиматических условий региона и идет, как правило, по зональному типу (Курачев, Андроханов, 2002; Яборов, 2011). Анализ научных публикаций показал, что в настоящее время наиболее востребованы экономически целесообразные способы восстановления биологической продуктивности нарушенных площадей (Макеева, Неверова, 2016).

Согласно «Инструкции» (1996), наиболее приемлемыми для закрытых полигонов ТКО являются сельскохозяйственное, лесохозяйственное, рекреационное и строительное направления рекультивации. Однако эти направления рекультивации для полигонов ТКО и некоторых других объектов

вызывают вполне обоснованные возражения у ряда авторов (Махнев, Махнева, 2010; Капелькина, 2015).

Очевидно, что в современной непростой экономической ситуации вопрос об определении корректной стратегии восстановления нарушенных земель становится особенно важным. Именно поэтому бывшие ранее основными направления рекультивации - сельскохозяйственное и лесохозяйственное – в настоящее время менее востребованы и предпочтительны. Эта тенденция прослеживается не только при рекультивации полигонов ТКО, но и других объектов, особенно в суровых климатических условиях, или при хроническом загрязнении территорий промышленными выбросами и т.д. При этих условиях появление санитарно-гигиенического направления рекультивации становится неизбежным (Махнев, Мамаев, 1979). С одной стороны, это обусловлено социально-экономическими факторами, а с другой стороны, эколого-климатическими условиями местности. Именно учет экологических особенностей (выделение биогаза, повышенная пожароопасность, постоянный риск выделения загрязняющих веществ и др.) как действующих, так и уже закрытых полигонов ТКО явился научной базой, основой для высказанного мнения о нецелесообразности осуществления вышеперечисленных направлений и, прежде всего, сельскохозяйственного и строительного (Капелькина, 2015) при рекультивации этих объектов. По-видимому, в настоящий момент наиболее приемлемым направлением рекультивации полигонов и некоторых других сложных объектов является санитарно-гигиеническое, предусматривающее создание фитоценозов озеленительного и противозерозионного назначения с целью снижения или исключения отрицательного влияния рекультивируемого объекта на окружающую среду.

Необходимо отметить, что в отечественной практике рекультивации были прецеденты, когда в нормативных документах санитарно-гигиеническое направление было признано основным. В 1995 г. группой авторов (А.В. Орлов, Ю.Б. Поволоцкий, Л.В. Верещак) были разработаны рекомендации по рекультивации отработанных золошлакоотвалов тепловых электростанций РД

34.02.202-95, в которых было указано (п.2), что «санитарно-гигиеническая рекультивация (консервация) является основным видом рекультивации отработанных золошлакоотвалов», и проведение рекультивации допускалось в один этап – технический. В РД указано, что «...при покрытии золошлакоотвала сплошным слоем плодородного грунта проведение биологического этапа рекультивации необязательно, поскольку в плодородном грунте всегда находится некоторое количество семян растений, что в дальнейшем приведет к самозаращению золошлакоотвала». При этом авторы ссылались на фундаментальные научные исследования В.В. Тарчевского (1967, 1970) о закономерностях формирования фитоценозов на промышленных отвалах.

По нашему мнению, эти подходы в полной мере можно отнести и к рекультивации полигонов ТКО. Для этих объектов санитарно-гигиеническое направление рекультивации, по крайней мере, в первые десятилетия после закрытия, должно быть основным, а правильно подобранные грунты, которые выполняют роль плодородного слоя, обеспечат активное зарастание рекультивированной территории.

### **1.5. Использование органогенных субстратов при рекультивации**

Одной из основных экологических и экономических проблем при рекультивации является дефицит почвогрунтовых ресурсов для создания рекультивационных покрытий. Источники формирования плодородного слоя всегда являются одной из важных технологических проблем при проведении работ по рекультивации нарушенных земель (Пугин, Ивенских, 2013).

При формировании плодородного слоя для подавляющего большинства объектов, включая полигоны ТКО, традиционно используют «плодородный слой почвы», которые наносят слоем мощностью до 0,8 м (Зеньков и др., 2013). При этом подсчитано, что для рекультивации 1 га полигона требуется до 10 тыс. м<sup>3</sup> почвенно-растительного грунта, что соответствует нарушению 5 га природных земель, т.е. до 5 раз может превышать площадь рекультивируемого объекта (Жилинская, 2010). На этапе биологической рекультивации во многих регионах ощущается острая



нехватка плодородных почв (Котович, Гуман, 2015). В связи с ограниченностью запасов плодородного слоя почвы, а в ряде случаев и пригодных для биологического восстановления нарушенных территорий грунтов (как правило, суглинистого состава), необходимо использовать высокий биологический потенциал органогенных субстратов – отходов производства и потребления.

Необходимо подчеркнуть, что использование отходов при создании плодородного слоя почвы соответствует требованиям федерального законодательства, а также ведомственных нормативных документов. В соответствии со ст. 3 Федерального закона «Об отходах производства и потребления» № 89-ФЗ от 24.06.1998 г., к принципам государственной политики в сфере обращения отходов относится «использование методов экономического регулирования деятельности в области обращения с отходами в целях уменьшения количества отходов и вовлечения их в хозяйственный оборот». В СП 2.1.7.1038-01 «Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для ТКО» также указывается на возможность применения отходов при рекультивации нарушенных земель при условии соблюдения санитарно-гигиенических требований по охране атмосферного воздуха, почвы, грунтовых и поверхностных вод.

При конструировании верхнего плодородного слоя наиболее целесообразным является применение органогенных отходов, содержащих все элементы питания растений и гумифицированное органическое вещество. Этим требованиям отвечают, прежде всего, традиционные органические отходы - навоз от различных видов сельскохозяйственных животных и птичий помет. Помимо этого, могут использоваться компосты из ТКО и осадки сточных вод, а также органические отходы различных производств (осадок спиртовой барды, свекловичный жом, кофейный жмых, опилки и т.д.) и их смесей в различных пропорциях, которые позволят добиться оптимального результата в кратчайшие сроки. При планировании использования органогенных отходов необходимо контролировать экологическую безопасность используемого субстрата, поскольку верхний плодородный слой будет оказывать непосредственное влияние на

растения, а также контактировать с окружающей средой, поставляя загрязняющие вещества непосредственно в атмосферный воздух и в поверхностные воды (за счет смыва с атмосферными осадками). Рассмотрим более подробно особенности применения органометаллических отходов производства и потребления в качестве плодородного субстрата.

### **1.5.1. Осадки сточных вод**

К осадкам сточных вод относят группу отходов, образующихся на сооружениях механической, биологической и физико-химической очистки поверхностных и подземных вод, сточных вод поселений и близких к ним по составу производственных сточных вод (ГОСТ Р 54534-2011).

ОСВ образуются на водоочистных сооружениях из муниципальных сточных вод. Биологическая очистка сточных вод является одним из крупнейших производств мировой экономики, количество ежегодно образующихся биологических осадков исчисляется миллионами тонн (табл. 1.2).

Ежегодные объемы производства ОСВ в России достигают 3,4 млн. т по сухому веществу (Хомяков, 2008) или, по другим оценкам, около 80–100 млн. т ОСВ влажностью 95–96%, основная масса которых складывается на иловых площадках (Девяткин, 2009). Очевидно, что для их размещения требуются обширные территории.

Обезвреживание/ликвидация иловых осадков происходит посредством выброса в океан (*dumping*), захоронения (*disposition*) или сжигания (*incineration*). Однако эти способы являются дорогостоящими и экологически нецелесообразными (McClellana, Haldena, 2010). Поэтому активно разрабатываются другие методы утилизации иловых осадков: получение строительных материалов, биотоплива, активированного угля, электроэнергии, а также применение в качестве удобрения для сельского хозяйства (Constantinescu, 2008). Несомненно, наиболее предпочтительным и рациональным является последний вариант (Барановский, Гладких, 2007).

Таблица 1.2 – Количество илового осадка после биологической очистки сточных вод (по: Никовская, Калиниченко, 2014)

Страна	Количество осадка, млн тонн/год	Источник
США	7,000	McClellana, Haldena, 2010
Швейцария	0,215	Berbecea A., Radulov, 2008
Австрия	0,320	Chang, Page, 1995
Франция	0,900	Vesilind et al., 2001
Германия	2,750	Vesilind et al., 2001
Италия	0,800	Vesilind et al., 2001
Великобритания	1,500	Vesilind et al., 2001
Япония	2,300	Wang et al., 2004
Украина	1,802	Nezdoyminov, Chernyshova, 2010
Южная Корея	1,902	Ahn, Choi, 2004
Россия	77, 678	Kalyuzhnyi, 2008

Использование осадков сточных вод в качестве органических удобрений регламентируется ГОСТ Р 17.4.3.07–2001 «Требования к осадкам сточных вод при использовании в качестве органических удобрений» и Санитарными правилами и нормами СанПиН 2.1.7.573–96 «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения».

В Европе и в странах региона Балтийского моря существуют различные стратегии утилизации осадка (рис. 1.3). В таких странах, как Нидерланды, Бельгия и Швейцария, сельскохозяйственное использование осадка сточных вод запрещено или ограничено, поэтому осадок в основном сжигают. В других странах (например, в Финляндии, Эстонии и Норвегии) компостированный осадок применяется для благоустройства зеленых зон. В некоторых странах, например, в Исландии, Мальте и Греции, весь осадок вывозится на полигоны ТКО. В России и Беларуси распространен сбор осадка в илонакопителях.

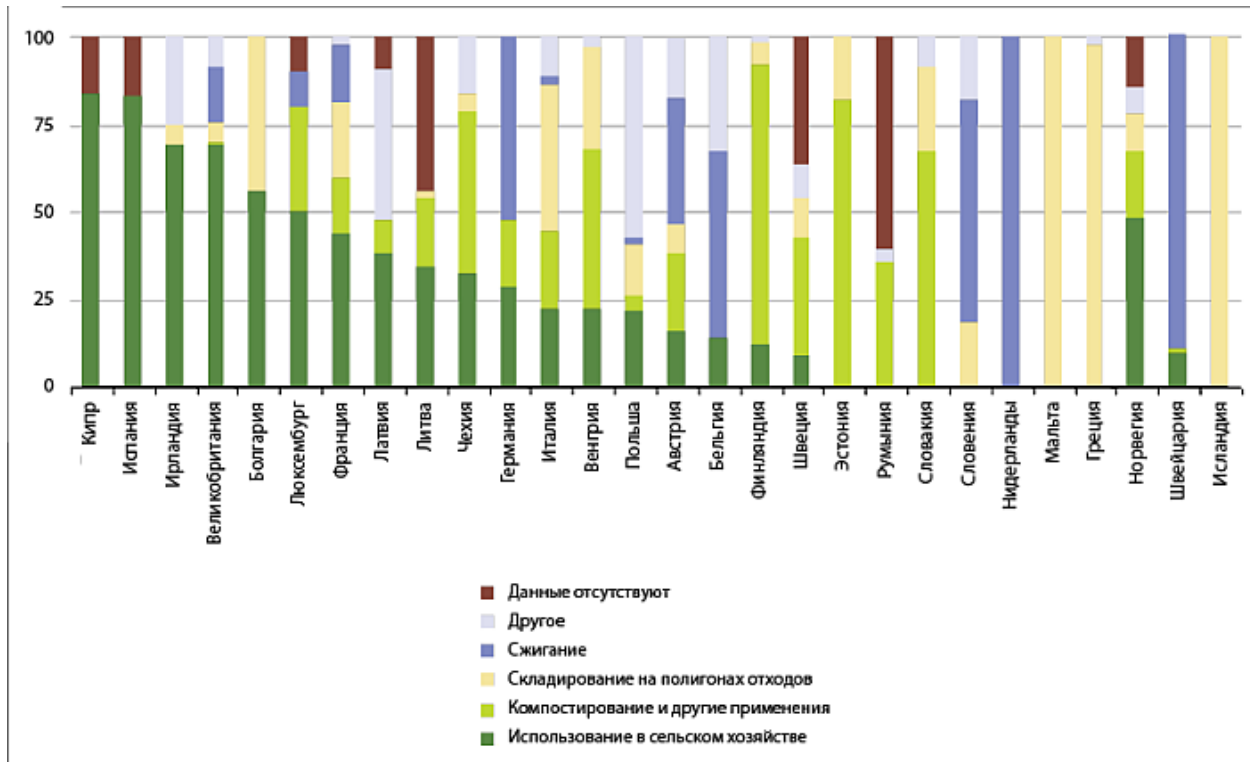


Рисунок 1.3 – Стратегии утилизации ОСВ в европейских странах  
(по: Обработка осадка сточных вод, 2012)

Таким образом, за рубежом, в зависимости от региональных социально-экономических и геоэкологических особенностей стран, в агропроизводстве (земледелии) используют от 10 до 90 % накапливающихся ОСВ, а в среднем (в Западной Европе) – 30-40 %. В мире прослеживается устойчивая тенденция к ежегодному росту этого показателя в общих объемах утилизации. По прогнозам, в США к 2020 году он составит не менее 60%. В России, по самым оптимистическим оценкам, в агрикультуре применяется в совокупности пока лишь около 5% осадков (Хомяков, 2008).

Известно, что осадки ТКО сточных вод (ОСВ) представляют собой органический субстрат, содержащий биогенные элементы (азот, фосфор, калий, их соединения) в концентрациях, сопоставимых с традиционными органическими удобрениями. Поэтому и в научной литературе, и в хозяйственной деятельности всегда большое внимание уделялось вопросу рационального использования биологического потенциала ОСВ, его рациональному использованию (Дрозд и др.,

2001; Захаров, 2004; Кусакина, 2004; Ресурсы..., 2006; Пахненко, 2007; Smirnova, Pidgorsky, 2004; Степкина, 2009; Грехова и др., 2015; Хабарова, 2015).

Иловые осадки содержат до 40% органического и, соответственно, до 60% минерального вещества в пересчете на сухую массу (Shooner F., Tyagi, 1996). Исследователи отмечают высокое содержание в осадках гуминовых кислот (Boyd, Sommers, 1990; Nielsen, 1996; Jaynes, 2003). Характерной особенностью ОСВ является высокое содержание протеинов (Subramanian, 2007).

Осадки сточных вод содержат микроэлементы (тяжелые металлы), которые в адекватных концентрациях жизненно важны для развития растений, однако в высоких — обуславливают токсичность иловых осадков. Тяжелые металлы (микроэлементы), необходимые для роста микроорганизмов, могут быть разделены на группы (Pirt, 1978):

- элементы, которые обычно необходимы для роста (essential), — Ca, Mn, Fe, Co, Cu, Zn;
- элементы, редко необходимые для роста (nonessential), — Ba, Na, Al, Si, Cl, V, Cr, Ni, As, Se, Mo, Sn, I

В зависимости от плотности населения и производственной активности регионов количество тяжелых металлов (микроэлементов) в биологических осадках может колебаться в значительных пределах и существенно превышать предельно допустимые концентрации — ПДК (табл. 1.3). Загрязненность ОСВ тяжелыми металлами является основным фактором, ограничивающим возможность применения их в качестве органического удобрения или плодородного грунта (Касатиков, 1990; Soldierer, 1991; Roth, 1994; Дрейер и др., 1997; Tiguia, Tam, 1998; Paluszak et al., 2002; Strauch, 2009; Нефедов и др., 2007).

Перед использованием осадки обезвоживают и обеззараживают. И российскими, и зарубежными исследователями разработаны различные технологические схемы для очистных станций по кондиционированию ОСВ. Обезвоживание ОСВ выполняют механическими средствами (на вакуум-фильтрах,

фильтр-прессах, центрифугах), с использованием различных коагулянтов и на иловых площадках.

Таблица 1.3 – Содержание металлов в иловых осадках после биологической очистки муниципальных сточных вод (по: Никовская, Калиниченко, 2014)

Страна	Концентрация элемента мг/кг сухого вещества					Источник
	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	
Украина	-	1,9-1900	149-279	1,0-175	6,0-2600	Pashutina, 2009
Россия	305-310	200-300	75-77	35	700-800	Zykova, Panov, 2001
США	3000	4300	420	840	7500	Matthews, 2001
Канада	36-114	189-638	16-151	52-147	302-642	Shooner, Tyagi, 1996
Великобритания	400	200	75	300	200	Matthews, 2001
Южная Корея	1152±31	2340±40	829±19	222±10	4529±105	Ryu, 2003
Сингапур	1901±11	7764±278	2053±140	584±41	18062±304	Wang, 2004
Польша	50-666	143-700	34-235	-	1077-3500	Jakubus, Czekala, 2001
ПДК*	<u>500-1000</u> -	<u>750-1500</u> <u>1000-1750</u>	<u>200-400</u> 300-400	<u>250-500</u> 750-1200	<u>1750-3500</u> 2500-4000	

\* числитель — ограничения по содержанию тяжелых металлов в осадках сточных вод для сельскохозяйственного применения согласно ГОСТу Российской Федерации, знаменатель — то же в соответствии с Европейским стандартом

Для обеззараживания применяются различные термические методы, компостирование, анаэробное сбраживание, обработка химическими реактивами, аэробная ферментно-кавитационная обработка и т.д. (Евилевич, Евилевич, 1988; Pavlovic, 1999; Куликова и др., 2007; Степкина, 2009; Грехова и др., 2015; Nikovskaya et al., 2011). На очистных сооружениях Санкт-Петербурга используются технологии обезвоживания осадков с использованием центрифуг, центрипрессов, декантеров оборудования нового поколения фирм «Флоттвег» и «Вестфалия Сепаратор» (Кинебас и др., 2010)

Для уничтожения неприятных запахов осадков сточных вод используют введение в них дезодорирующих добавок (измельченный активированный мягкий бурый уголь) или предварительное известкование (Christy, Christy, 1993; Manchak

et all., 1993). Применяемая на очистных станциях аэробно-анаэробная стабилизация, а также обработка оксидом либо карбонатом кальция/калия (известкование) обеспечивают инактивацию около 99% санитарно-показательных микроорганизмов (Убугунов и др., 2005). Международным институтом риска здоровья и ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» в работе по изучению размещения ОСВ, смесей на их основе и компостов, для снижения уровня химического загрязнения осадков, их обеззараживания и дегельминтизации рекомендовано компостирование (Шевчук и др., 2001) Содержание патогенной микрофлоры и другие санитарно-гигиенические показатели ОСВ строго регламентированы СанПиН 2.1.7.573-96. Исследованиями установлено, что внесение стабилизированного и обеззараженного ОСВ улучшает биологическую активность почвы, не приводит к появлению патогенной микрофлоры и в правильно подобранных дозах не снижает экологических качества сельскохозяйственной продукции (Селивановская и др., 2002; Мосина, Мерзлая, 2010; Кориновская и др., 2015) Таким образом, стабилизированные иловые осадки практически не содержат патогенов, и основным препятствием для их использования является загрязненность тяжелыми металлами (Касатиков, 1990; Jaynes et all., 2003).

Анализ литературы по методам очистки ОСВ от тяжелых металлов свидетельствует о том, что это — актуальная и важная эколого-химическая проблема. Изучению механизмов взаимодействия иловых осадков с тяжелыми металлами посвящена обширная литература, которая является теоретической основой для разработки методов кондиционирования загрязненных тяжелыми металлами иловых осадков муниципальных сточных вод (Стамм и др., 1983; Tsezos, 1984; Aksu, 1991; Zykova et all., 2003; Fiore, Trevors, 1994; Ahalya e tall., 2003; Xu et all., 2004; Gadd, 2007; Narasimhulu, 2012; Murthy et all, 2012; Hammaintall, 2006).). Одним из наиболее перспективных направлений является разработка биотехнологических методов удаления ТМ из биокolloидных систем ОСВ участием гетеротрофных микроорганизмов, основанные на активизации жизнедеятельности иловых биоценозов (Nikovskaya, 2001; Zykova et all., 2001; Kalinichenko, 2012; Nikovskaya et all., 2013). Весьма перспективным приемом,

оптимизирующим процессы аэробного компостирования и улучшающим качество удобрений из ОСВ, является применение дождевых червей – вермикомпостирование (Мухортов, Ускова, 2008; Романов и др., 2013).

В информационно-техническом справочнике по наилучшим доступным технологиям ИТС10-2015 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений городских округов» (2015) рекомендованы три технологии по утилизации осадка сточных вод.

Первая технология сжигания осадка в горячем слое песка с получением тепловой энергии. На выходе остаётся 5% золы, которые подлежат захоронению на полигоне.

Вторая технология термической сушки в установках конвективного или кондуктивного типа при высоком нагреве. За счет сжигания топлива влажность осадка снижается до 35% и в 3 раза уменьшается масса. Осадок используют как почвогрунт для отсыпки дорог и полигонов.

Третья технология - компостирование осадка с получением органического удобрения. При ферментации компоста происходит повышение температуры до +70°C, за счет чего осадок обеззараживается, снижается влажность до 50% и масса компоста уменьшается в 2 раза. При этом достигается стабилизация и гумификация органических веществ. Обработанный таким образом осадок используют как органическое удобрение для городского озеленения. По капитальным затратам на оборудование и себестоимость утилизации осадка технология компостирования является самой дешёвой по экономическим показателям.

Таким образом, основными экологическими критериями при использовании ОСВ в хозяйственных целях являются их обеззараженность, а также отсутствие в них сверхнормативного содержания тяжелых металлов (Требования..., 1995). Использование осадков сточных вод в качестве удобрений общеизвестно (Касатиков и др., 1984; Покровская, Касатиков, 1987; Воробьева и др., 2000), и даже разработан ГОСТ Р 54651-2011. «Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия».



Многочисленными исследованиями по использованию ОСВ в качестве органоминерального удобрения в сельском хозяйстве доказано, что необходимо исходить из прогноза их ожидаемого влияния на химический состав почвы, который может определяться за период 10-15 лет. В условиях низкого содержания ТМ в ОСВ доза их внесения определяется, исходя из потребности культур в элементах минерального питания (Стратегия..., 2002; Методические рекомендации..., 2000). В ряде регионов существуют технологические (производственные) и экологические (природные) особенности, что нашло отражение в предлагаемых путях использования в агропроизводстве (Чемаева, 2003; Чемерис, 2006; Селивановская и др., 2007; Климова, Починова, 2009; Починова, 2009; Таран, Майдебура, 2009; Зотов, Суслов, 2010; Пескарев, 2010; Васенев и др., 2012; Карякина и др., 2014; Мерзлая, Афанасьев, 2014; Просьянников, 2015; Чемерис и др., 2015; Васбиева, 2016). Изучению экологически безопасного применения ОСВ в качестве органического удобрения посвящены также работы зарубежных исследователей (Ware, Love, 1993; Gunse, 1995; Clark, 1998; Saruhan et al, 2010).

Важнейшим направлением утилизации ОСВ является их использование при рекультивации нарушенных земель, которое регламентируется ГОСТом Р 54534-2011. «Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Требования при использовании для рекультивации нарушенных земель». Согласно этого документа, использование ОСВ допускается для рекультивации различных категорий нарушенных земель, а также для специализированных полигонов размещения осадков сточных вод, полигонов ТКО и полигонов промышленных отходов. При этом предусмотрено использование ОСВ в двух качествах: как инертный материал для заполнения отработанных карьеров, выемок и т.д. и в качестве почвогрунтов для создания растительного слоя земли и задернения рекультивированной территории. При этом подчеркивается, что мощность слоя почвогрунта должна обеспечить полноценное развитие корневой системы и питание растений. Для ОСВ, использующихся в качестве инертного материала,

предусмотрены менее жесткие нормативы по содержанию тяжелых металлов (табл.1.4)

Исследования, проведенные при рекультивации различных объектов техногенно-нарушенных земель показали, что при условиях соблюдения природоохранных требований внесение осадков в загрязненные и обедненные почвы (грунты) способствует снижению концентрации загрязняющих веществ в них, улучшению механического состава, обогащению органическими и гумусовыми веществами, интенсификации процессов самоочищения, повышению буферной емкости и влагоудерживающих свойств и в конечном итоге – созданию или восстановлению почвенного плодородия (Клековкин, 2006; Назарова и др., 2012; Мухортов, Романов, 2013; Грехова и др., 2015).

Таблица 1.4 – Допустимое содержание загрязняющих веществ в ОСВ и продуктах их переработки при использовании для рекультивации нарушенных земель (по: ГОСТ Р 54534-2011)

Наименование показателя, мг/кг сухого вещества, не более	Норматив	
	для технической рекультивации	для биологической рекультивации
Ртуть	30	15
Хром	2000	1000
Свинец	1000	500
Кадмий	60	30
Никель	800	400
Медь	1500	750
Цинк	7000	3500
Мышьяк	40	20

Показана целесообразность созданных на основе ОСВ с помощью новейших технологий (биоферментация, термовакуумные технологии и т.д.) почвогрунтов для биологической рекультивации нарушенных земель, полигонов промышленных

отходов (Орлова и др., 2005; Капелькина и др., 2009; Карякина и др., 2014; Сеницына, Решетникова, 2015). Учеными разработаны и апробированы с положительным результатом метод ускоренной рекультивации отвалов Кемеровской области с использованием осадков сточных вод, являющихся отходами городских очистных сооружений канализации (Макеева, Неверова, 2016). В промышленном центре юга Кузбасса выполнен комплекс работ по биологической рекультивации техногенных ландшафтов с использованием осадков сточных вод, являющихся отходами городских очистных сооружений канализации. Установлено положительное влияние осадков сточных вод городской канализации на микробиологическую активность техноземов и рост травянистых и древесных растений (Клековкин, 2006). Показана перспективность использования ОСВ для рекультивации нарушенных земель в условиях Крайнего Севера (Назарова и др., 2012). Показана перспективность использования ОСВ для рекультивации полигонов ТКО в условиях Северо-Западного региона (Капелькина и др., 2009; Капелькина, 2011). Аналогичные результаты были получены и зарубежными авторами (Khan, Scullion, 2000; Schloter et al., 2003).

В литературе отмечается еще одно немаловажное обстоятельство. В последние годы в связи с выводом ряда промышленных предприятий из городов, а также реализацией программ комплексного улучшения окружающей среды населенных пунктов, разделением промышленных и коммунальных стоков, существенно изменился химический состав ОСВ: снизилось содержание соединений химических элементов, относящихся к потенциальным загрязнителям экосистем, и ОСВ даже крупных городов стали более безопасны в экологическом отношении (Хомяков, 2008). Это делает более реальным активное вовлечение ОСВ в хозяйственное использование в качестве как органических удобрений, так и плодородных грунтов.

Таким образом, использование ОСВ для рекультивации полигонов ТКО является перспективным направлением утилизации ОСВ, рациональным использованием высокого биологического потенциала этих видов отходов, а также предусмотрено нормативными документами.

### 1.5.2. Компосты из ТКО

Особенности компостирования ТКО с целью получения кондиционного продукта – компоста, который было бы возможно использовать в народно-хозяйственных целях – подробно рассмотрено выше (п. 1.2.3). необходимо отметить, что использование компостов из ТКО, так же, как и удобрений из ОСВ, имеет достаточно продолжительную историю. Поскольку общепризнанным является факт высокого биологического потенциала компостов из ТКО, а технологии биотермической переработки ТКО позволяют получать компост, по своим свойствам близкий к традиционным органическим удобрениям, то с начала 60-х годов XX века существует направление в агрономии по использованию компостов в сельском хозяйстве (Ромашкевич, 1964; Скворцов, Кузьменкова, 1975; Витковская, 2012 и др.). Однако очевидно, что жесткие требования, которые предъявляются к компосту как удобрению, существенно ограничивают его использование в сельском хозяйстве. Более рациональным и доступным является использование компоста не в сельском хозяйстве, а в технологических циклах эксплуатации и рекультивации полигонов ТКО в качестве покрывающего материала, а также в качестве плодородного грунта в лесных питомниках, при озеленении и рекультивации нарушенных земель (Архипченко, 2007; Малюхин и др., 2014; Теплякова и др., 2014).

Санитарные правила СП 2.1.7.1038-01 «Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для ТКО» допускают засыпку карьеров и других, искусственно созданных полостей с использованием инертных отходов, твердых коммунальных и промышленных отходов 3–4 классов опасности. Поскольку компосты из ТКО относятся к IV-V классам опасности, то их применение в качестве инертного грунта не вызывает возражений. Однако для использования компоста на заключительном этапе технической рекультивации, при создании верхнего, плодородного слоя необходимо, чтобы не было риска загрязнения природных сред (прежде всего, атмосферного воздуха и поверхностных вод) тяжелыми металлами и другими загрязняющими веществами.

Следовательно, компосты, применяемые в качестве плодородного грунта, должны соответствовать нормативным требованиям.

Для условий Санкт-Петербурга и Ленинградской области разработаны ТУ 571100-002-98602144-2009 "Компост из твердых бытовых отходов". Эти технические условия распространяются на созревший компост из твердых бытовых отходов (КТБО), полученный методом аэробного биотермического компостирования, и расценивают его как самостоятельный строительный материал, применяемый для отсыпки котлованов, карьеров, выемок, а также в качестве промежуточного и изолирующего инертного слоя на полигонах захоронения ТКО. Кроме того, предусмотрено использование компоста как сырья для приготовления рекультивационных почвогрунтов.

Целесообразность использования компоста ТКО в качестве плодородного грунта при рекультивации полигонов ТКО признается большинством исследователей, занимающихся этой проблемой (Серета, 2006; Орлова и др., 2007; Евдокимов и др., 2015). В Концепции управления твердыми бытовыми отходами, разработанной Л.Я. Шубовым с соавт. (2000), предусмотрено использование компостов из ТКО при рекультивации нарушенных земель. Я.А. Жилинской (2010) была разработана технология рекультивации полигонов ТКО с использованием продуктов механо-биологической переработки отходов и показана ее высокая эффективность для условий Пермского края. Ю.Г. Жилинской с соавт. (2008) был проведен скрининг рудеральных видов растений, осваивающих полигоны твердых коммунальных отходов (ТКО) при их покрытии компостом из ТКО и выявлена ведущая роль вейника наземного (*Calamagrostis epigeios* L. Roth) - многолетнего злака, который в течение 15 лет образовал монопопуляцию растений с высокой продуктивностью (15 ц/га).

Очень интересен опыт Германии, где на протяжении многих лет практикуется применение специальных рекультивационных слоев из компостов ТКО толщиной до 1,5 м. Наблюдение в течение 3-х лет показало, что они хорошо зарастают травянистой растительностью (Stegmann, 1983). Кроме того, слой

компоста, содержащий большое количество органики, служит для эффективного поглощения (окисления) метана, выделяющего из нижних слоев свалочных масс.

Однако несмотря на то, что на некоторых полигонах ведутся исследования по использованию компостов ТКО в качестве рекультивационного покрытия (Stegmann, 1983; Серeda, 2006), до сих пор недостаточно данных, подтверждающих эффективность и экологическую безопасность применения компоста ТКО в поверхностных рекультивационных слоях, да и практических результатов о формировании фитоценозов и динамике зарастания рекультивированных полигонов ТКО в литературе крайне мало. Таким образом, использование компостов из ТКО в качестве рекультивационного покрытия нуждается в дальнейших научных исследованиях.

### **1.5.3. Кофейный жмых**

В отличие от первых двух рассмотренных органогенных субстратов – ОСВ и компоста из ТКО – опыта использования кофейного жмыха в качестве плодородного грунта или составной части при составлении рекультивационных покрытий в научной литературе практически нет. Лишь в последние один-два года появились единичные работы, посвященные токсичности свежего кофейного жмыха (Балутина и др., 2015) и возможности использования этого отхода вместе с ОСВ в качестве органо-минерального удобрения при выращивании овса на дерново-подзолистых супесчаных почвах Калужской области (Белопухов и др., 2016). Показано положительное влияние выдержанных не менее года отходов кофейного производства в дозах до 10 т сухого вещества/га на физиологические, морфометрические показатели роста и развития растений овса, урожайность и качество зерна. Прибавка урожая зерна овса при использовании осадков сточных вод и выдержанных отходов кофейного производства по сравнению с контролем составила 9.3-13.6 ц/га, или 75-110%. При этом накопления таких тяжелых металлов, как кадмий, свинец, никель в зерне и почве не отмечали.

Таким образом, изучение возможности использования кофейного жмыха в качестве плодородного грунта при рекультивации полигонов ТКО отличается абсолютной новизной.

Подводя итоги проведенного обзора литературы, можно сделать следующее заключение.

Рекультивация является завершающим этапом эксплуатации полигонов ТКО, направленным на обеспечение санитарных и экологических требований эффективного использования территорий, отведенных под полигоны ТКО. Разработка современных методов рекультивации полигонов ТКО является актуальнейшей народно-хозяйственной задачей, а в современной непростой экономической ситуации вопрос об определении корректной стратегии восстановления этих объектов становится особенно важным. Именно поэтому бывшие ранее основными направления рекультивации - сельскохозяйственное и лесохозяйственное – в настоящее время менее востребованы и предпочтительны. По-видимому, в настоящий момент наиболее приемлемым направлением рекультивации полигонов и некоторых других сложных объектов является санитарно-гигиеническое, предусматривающее создание фитоценозов озеленительного и противоэрозионного назначения с целью снижения или исключения отрицательного влияния рекультивируемого объекта на окружающую среду.

Одной из основных экологических и экономических проблем при рекультивации является дефицит почвогрунтовых ресурсов для создания рекультивационных покрытий. Источники формирования плодородного слоя всегда являются одной из важных технологических проблем при проведении работ по рекультивации нарушенных земель. В связи с ограниченностью запасов плодородного слоя почвы, а в ряде случаев и пригодных для биологического восстановления нарушенных территорий грунтов (как правило, суглинистого состава), необходимо использовать высокий биологический потенциал органомных субстратов – отходов производства и потребления.

При конструировании верхнего плодородного слоя наиболее целесообразным является применение органомных отходов, содержащих все питания растений и гумифицированное органическое вещество. Этим требованиям

отвечают, наряду с традиционными органическими отходами (навоз от различных видов сельскохозяйственных животных и птичий помет), компосты из ТКО и осадки сточных вод, а также органические отходы различных производств (осадок спиртовой барды, свекловичный жом, кофейный жмых, опилки и т.д.). Правильно (научно обоснованно) подобранные грунты, которые выполняют роль плодородного слоя, обеспечат активное зарастание рекультивированной территории.

При планировании использования органогенных отходов необходимо контролировать экологическую безопасность используемого субстрата, поскольку верхний плодородный слой будет оказывать непосредственное влияние на растения, а также контактировать с окружающей средой, поставляя загрязняющие вещества непосредственно в атмосферный воздух и в поверхностные воды.

Таким образом, использование ОСВ и компостов из ТКО, а также отходов пищевого производства (кофейный жмых) для рекультивации полигонов ТКО является перспективным направлением утилизации этих отходов, рациональным использованием их высокого биологического потенциала и может существенно ускорить, и удешевить работы по рекультивации полигонов ТКО.

Однако несмотря на то, что на некоторых полигонах ведутся исследования по использованию компостов или продуктов переработки ТКО и ОСВ в качестве рекультивационного покрытия, до сих пор недостаточно научных данных, подтверждающих эффективность и экологическую безопасность применения этих органогенных субстратов в поверхностных рекультивационных слоях, да и практических результатов по формированию фитоценозов и динамике зарастания рекультивированных полигонов ТКО в литературе крайне мало. Таким образом, использование этих органогенных субстратов – отходов производства и потребления - в качестве рекультивационного покрытия нуждается в дальнейших научных исследованиях.

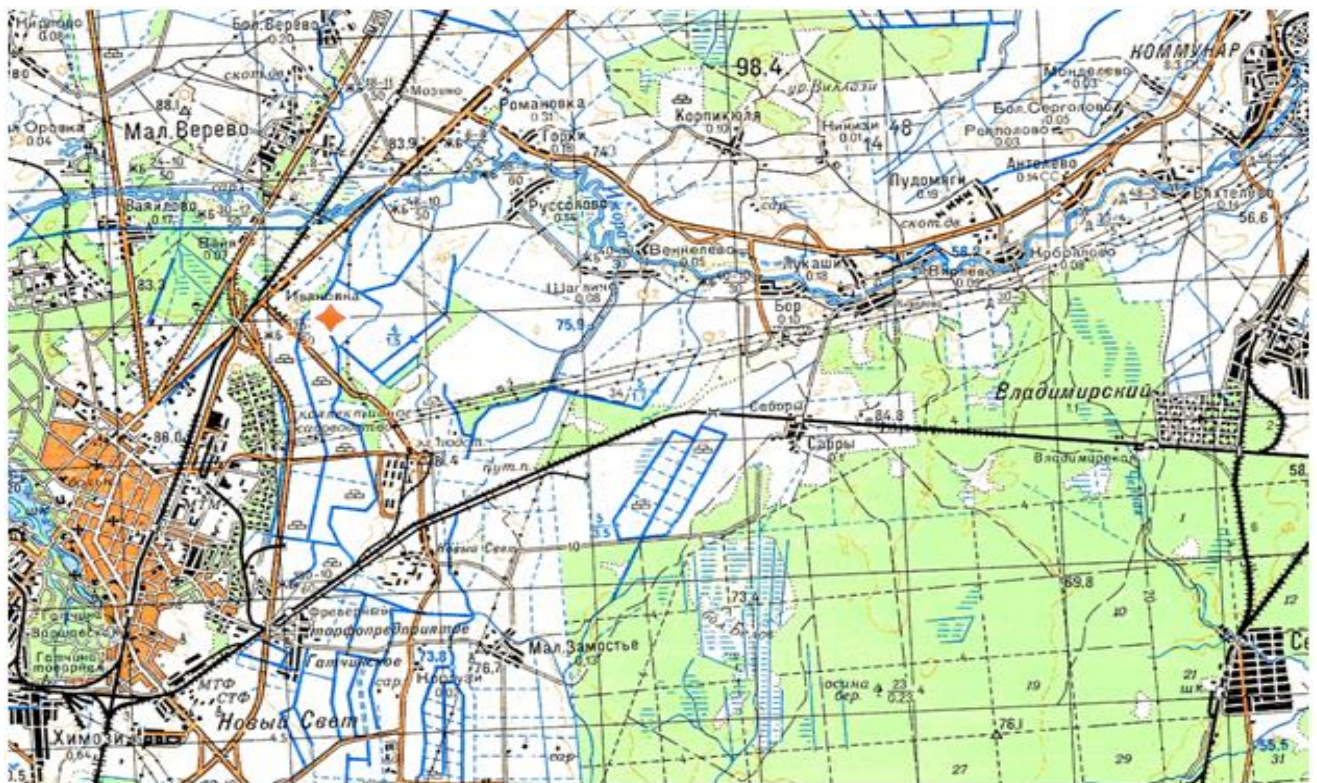


## 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Объекты исследования

#### 2.1.1. Характеристика территории полигона ТКО, подлежащего рекультивации

Бывший городской полигон ТКО г. Гатчина, расположенная на расстоянии 500 м. к юго-западу от поселка Ивановка, северо-западнее развязки автодороги Гатчина - Санкт-Петербург (рис. 2.1).



◆ - Объект исследований

Рисунок 2.1 – Географическая характеристика района и место расположения объекта исследований (Масштаб 1:100 000)

Территория полигона расположена в пределах Ижорской возвышенности, на высоте 75-76 метров от Кронштадтского футштока. Район находится под воздействием атлантических и континентальных воздушных масс умеренных широт, частых вхождений арктического воздуха и активной циклонической деятельности. Преобладают преимущественно западные, южные и юго-западные ветры. В результате взаимодействия всех климатообразующих факторов формируются климатические условия умеренно теплые с влажным летом и

довольно продолжительной умеренно холодной зимой. Среднегодовая температура равна + 4° С. Период со средней суточной температурой воздуха ниже +10° С составляет 242 суток. Средняя температура наиболее холодного периода составляет -11° С. Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца составляет 85%, наиболее теплого месяца 59%. По количеству осадков район относится к зоне с избыточным увлажнением. Среднегодовой уровень осадков за последние четыре года составил 637 мм. Глубина промерзания почвы колеблется от 0,25 м до 0,90 м.

Геологическое строение подстилающих грунтов определяется расположением объекта в пределах северо-западной части Русской платформы. Осадочные отложения от верхнепротерозойских до среднедевонских (мощностью до 400-500 м) залегают на кристаллическом фундаменте. Более молодые четвертичные образования плащеобразно залегают на древних породах (их мощность до 10 м). Подземные воды встречаются в отложениях всех возрастов. Водовмещающие породы - известняки трещиноватые, закарстованные. Известняки сверху прикрыты маломощными отложениями, представленными моренными суглинками, озерно-ледниковыми песчаными породами и глинами с прослоями мергеля. Мощность девона не превышает 10-15 м. Грунтовые воды по составу гидрокарбонатно-кальциевые, отличающиеся повышенной жесткостью.

На территории полигона с 1965 г. осуществлялось складирование ТКО г.Гатчина. Полигон был предназначен для приема, складирования и хранения ТКО в течение расчетного срока эксплуатации 20 лет, однако закрыт он был только в 2000 г., при этом до 2005 г. на эту территорию осуществляли несанкционированный вывоз мусора. Таким образом, исследуемый полигон ТКО давно превысил лимит размещения отходов, и уже давно назрела необходимость его рекультивации.

С 2008 г. на территории полигона ТКО проводится комплекс работ по рекультивации силами ООО «Чистая земля». Схема полигона ТКО, на котором проводятся рекультивационные работы, представлена на рисунке 2.2.

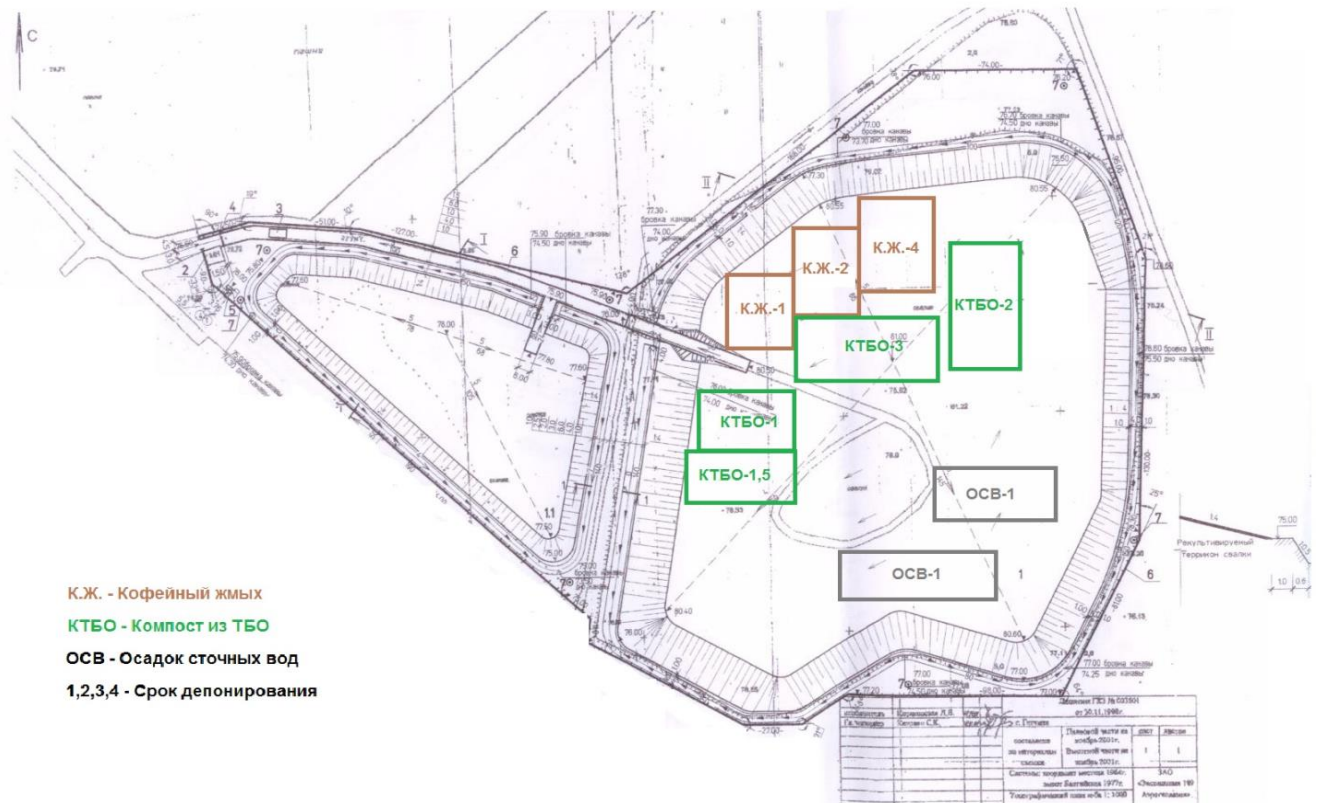


Рисунок 2.2 – Схема полигона и расположение исследуемых площадок

Площадь полигона составляет 10 га. По результатам геодезической съемки на момент проектирования объем свалочных масс составлял порядка 3-4 млн. м<sup>3</sup> отходов. Исходная (до рекультивации) поверхность отходов представляла неорганизованные карты различной высоты.

Перед началом разработки проекта рекультивации было проанализировано состояние отходов и их морфологический состав. Вместе с проектом рекультивации был оформлен весь пакет разрешительной документации, включая лицензию на осуществление деятельности по рекультивации (рис. 2.3).

Нижние слои отходов прошли стадию биотермического разложения и гумификации. Верхние слои ТКО характеризуются в основном низкой плотностью ( $\gamma=0,12 \text{ т/м}^3$ ) и высокой пористостью. Влажность ТКО невысокая и составляет порядка 20%. Морфологический состав ТКО представлен в таблице 2.1. Как видно из представленных данных, в общем объеме ТКО органическая часть составляла более 50%.



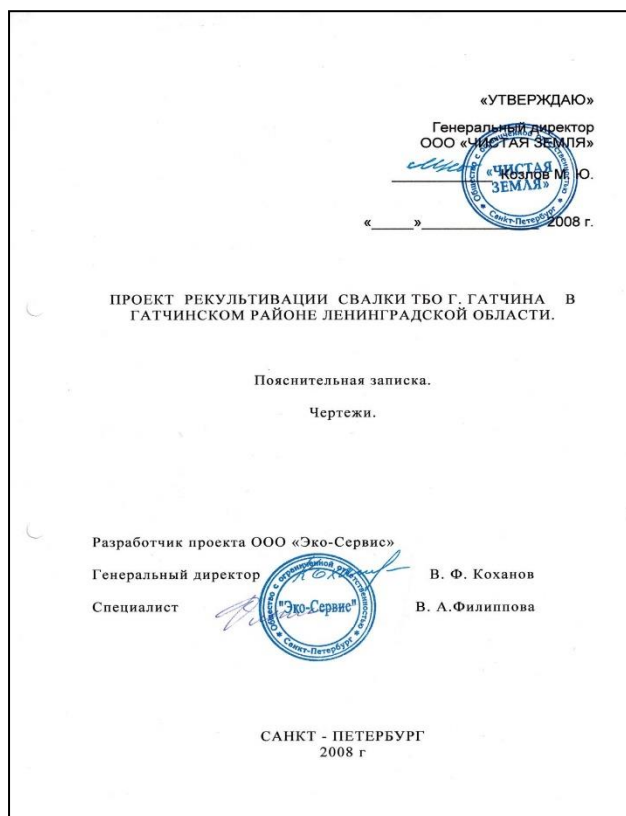


Рисунок 2.3 – Разрешительная документация на осуществление деятельности по рекультивации полигона, слева - проект рекультивации; справа - лицензия

Таблица 2.1 – Состав твердых коммунальных отходов полигона (из проекта рекультивации полигона, 2008)

№ п/п	Состав	%
1	Бумага	19,4
2	Пищевые отходы	27,6
3	Полимерные материалы	10,8
4	Металл черный	4,4
5	Металл цветной	0,3
6	Стекло	13,8
7	Кость	2,5
8	Прочие	0,1
9	Садово-парковые отходы	0,3
10	Отсев 15 мм	8,8
11	Камень	4,9
12	Кожа, резина	1,0
13	Дерево	1,0
14	Текстиль	5,1

Перед началом рекультивации было проведено детальное санитарно-гигиеническое обследование территории (лабораторные исследования выполнены филиалом ФБУЗ Центр гигиены и эпидемиологии в Ленинградской области в Гатчинском районе). Рассмотрим результаты предварительного обследования более подробно.

Санитарно-химическая характеристика почвогрунтов территории санитарно-защитной зоны полигона до глубины 2 м представлена в таблице 2.2. Пробы почвогрунтов отбирали в пределах санитарно-защитной зоны с глубины 0-20 см, 20-100 см, 100-200 м. Химическое исследование проводилось по восьми нормируемым показателям, включая тяжелые металлы (цинк, кадмий, свинец, медь, никель, ртуть), мышьяк, нефтепродукты и бенз(а)пирен.

Установлено, что отобранные образцы почвогрунтов с территории участка по изученным показателям в соответствии с требованиями СанПиН 2.1.7.1287-03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы» не превышают установленных нормативов.

Отсутствие выраженного загрязнения тяжелыми металлами связано, по-видимому, с отсутствием на данном полигоне отходов промышленности, которые и являются, как известно, основными химическими загрязнителями.

Однако определение санитарно-бактериологических и паразитологических показателей почвогрунтов полигона, подлежащей рекультивации, выявило крайне неблагоприятную ситуацию по этим параметрам. Установлено (табл.2.3), что почвогрунты, расположенные в санитарно-защитной зоне, не соответствуют требованиям СанПиН 2.1.7.1287-03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы», и по санитарно-бактериологическим показателям относятся к категории «Опасная».

Очевидно, что без проведения работ по рекультивации полигона он будет являться источником постоянной санитарно-экологической опасности для прилегающих территорий.

Таблица 2.2 – Химическая характеристика почвогрунтов территории полигона ТКО г. Гатчина (12 точек отбора проб) до глубины 2 м, 2008 г.

Глубина отбора образцов, см	Показатель	Результаты определений (валовая форма), мг/кг	Допустимого уровня (валовая форма), мг/кг
2	3	4	5
0-20	pH	6,71	по факту
	Нефтепродукты	<50	1000,0
	бенз(а)пирен	0,012	0,02
	Цинк (Zn), мг/кг	210	220
	Кадмий (Cd), мг/кг	0,1	2,0
	Свинец (Pb), мг/кг	31,8	130
	Медь (Cu), мг/кг	30,4	132
	Никель (Ni), мг/кг	11,4	80
	Ртуть (Hg), мг/кг	<0,1	2,1
	Мышьяк (As), мг/кг	2,2	10
20-100	pH	7,03-7,42	по факту
	Нефтепродукты	<50	1000,0
	бенз(а)пирен	0,0058-0,0060	0,02
	Цинк (Zn), мг/кг	107,1-115,4	220
	Кадмий (Cd), мг/кг	<0,1	2,0
	Свинец (Pb), мг/кг	12,4-103,8	130
	Медь (Cu), мг/кг	10,7-165,2	132
	Никель (Ni), мг/кг	10,1-10,3	80
	Ртуть (Hg), мг/кг	<0,1	2,1
	Мышьяк (As), мг/кг	1,0-1,9	10
100-200	pH	7,24	по факту
	Нефтепродукты	<50	1000,0
	бенз(а)пирен	0,005	0,02
	Цинк (Zn), мг/кг	138,8	220
	Кадмий (Cd), мг/кг	<0,1	2,0
	Свинец (Pb), мг/кг	62,8	130
	Медь (Cu), мг/кг	64,1	132
	Никель (Ni), мг/кг	10,9	80
	Ртуть (Hg), мг/кг	<0,1	2,1
	Мышьяк (As), мг/кг	0,9	10

Обследование природных вод проводили, отбирая пробы в дренажной канаве, устроенной вокруг территории полигона, и в смотровой скважине с глубины 12 м. В отобранных пробах определяли 17 показателей согласно

СанПиНу 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод», в том числе содержание тяжелых металлов и мышьяка. Как видно из данных, приведенных в таблице 2.4, исследованные пробы поверхностных вод не соответствуют требованиям указанного выше нормативного документа. Для пробы воды, отобранной из дренажной канавы ниже полигона, отмечено превышение установленных показателей по содержанию иона аммония, хлоридов, железа, кадмия и окисляемости (БПК<sub>5</sub> и ХПК), а для пробы воды из смотровой скважины – по содержанию железа.

Изучение микробиологических показателей природных вод выявило (табл. 2.5), что проба воды из дренажной канавы вокруг полигона также не соответствует требованиям СанПиН 2.1.5.980-00 по санитарно-бактериологическим показателям, в первую очередь по содержанию общих колиформных бактерий. Проба воды из контрольной скважины вне зоны влияния полигона оказалась чистой. Изучение химического состава атмосферного воздуха вокруг полигона было проведено по семи нормируемым показателям, в том числе взвешенным веществам, аммиаку, сероводороду, бензолу, оксиду углерода, метану и хлорбензолу.

Наблюдения проводили в трех точках: на территории бывшего полигона ТКО, на границе его санитарно-защитной зоны и на территории жилой застройки д.Ивановка. Условия отбора: температура воздуха 22,2°С, влажность 68%, скорость движения воздуха 1-2 м/с, атмосферное давление 755 мм рт.ст., направление ветра – южный, юго-восточный. Полученные результаты приведены в таблице 2.6.

По результатам лабораторно-инструментальных исследований установлено, что в атмосферном воздухе полигона, и на границе санитарно-защитной зоны, и на территории жилой застройки содержание заявленных веществ согласно СанПиН 2.1.6.1032-01 «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест» соответствует требованиям ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно-допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест».

Таблица 2.3 – Санитарно-бактериологические и паразитологические показатели почвогрунтов территории полигона ТКО г. Гатчина, подлежащей рекультивации

Место отбора проб	Дата	Показатели	Результаты исследований	Величина допустимого уровня				НД на методы исследований
				Чистая	умеренно опасная	опасная	чрезвычайно опасная	
Территория полигона, 0-20 см	15.08.2008	Санитарно-бактериологические показатели (из 8 объединенных проб)						
		Индекс БГКП (количества), кл/г	10-100	1-10	10-100	100-1000	≥1000	МР № ФЦ/4022
		Индекс энтерококков, кл/г	<1	1-10	10-100	100-1000	≥1000	МР № ФЦ/4022
		Патогенные бактерии, в т.ч. сальмонеллы, кл/кг	не обнаружены	0	0	0	0	МР № ФЦ/4022
		Санитарно-паразитологические показатели (из 8 объединенных проб)						
		Яйца и личинки гельминтов, экз/кг	не обнаружены	0	до 10	до 100	более 100	МУК 4.2.2661-10
		Цисты кишечных патогенных простейших, экз/100 г	не обнаружены	чистая до 5		загрязненная выше 5		МУК 4.2.2661-10
Граница с территорией полигона, 0-20 см	15.08.2008	Санитарно-бактериологические показатели						
		Индекс БГКП (количества), кл/г	10-100	1-10	10-100	100-1000	≥1000	МР № ФЦ/4022
		Индекс энтерококков, кл/г	<1	1-10	10-100	100-1000	≥1000	МР № ФЦ/4022
		Патогенные бактерии, в т.ч. сальмонеллы, кл/кг	не обнаружены	0	0	0	0	МР № ФЦ/4022



Продолжение таблицы 2.3.

Продолжение таблицы 2.3.								
Санитарно-паразитологические показатели								
		Яйца и личинки гельминтов, экз/кг	не обнаружены	0	до 10	до 100	более 100	МУК 4.2.2661-10
		Цисты кишечных патогенных простейших, экз/100 г	не обнаружены	чистая до 5		загрязненная выше 5		МУК 4.2.2661-10
Террито- рия санитарно- защитной зоны полигона, 0-20 см	15.08. 2008	Санитарно-бактериологически показатели						
		Индекс БГКП (коли- формы), кл/г	100-1000	1-10	10-100	100-1000	≥1000	МР № ФЦ/4022
		Индекс энтерококков, кл/г	<1	1-10	10-100	100-1000	≥1000	МР № ФЦ/4022
		Патогенные бактерии, в т.ч. сальмонеллы, кл/кг	не обнаружены	0	0	0	0	МР № ФЦ/4022
		Санитарно-паразитологические показатели						
		Яйца и личинки гельминтов, экз/кг	<1	0	до 10	до 100	более 100	МУК 4.2.2661-10
		Цисты кишечных патогенных простейших, экз/100 г	не обнаружены	чистая до 5		загрязненная выше 5		МУК 4.2.2661-10

Таблица 2.4 – Химический состав природных вод на территории полигона ТКО, подлежащего рекультивации, 2008 г.

Показатель	Дренажная канава ниже полигона	Смотровая скважина	Допустимый уровень, не более	НД на методы исследования
рН	7,60	7,62	6-9	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97
Ион аммония (NH <sub>4</sub> ) мг/л	2,2	0,99	2,0	ПНД Ф 14.1:2.1-95
Нитрит-ион (NO <sub>2</sub> ) мг/л	0,20	0,025	3,0	ПНД Ф 14.1:2:4.3-95
Нитрат-ион (NO <sub>3</sub> ) мг/л	1,24	1,5	45,0	ПНД Ф 14.1:2:4.4-95
Хлориды (Cl) мг/л	460,0	25,0	350,0	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99
Сульфаты (SO <sub>4</sub> ) мг/л	55,0	24,0	500	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99
Железо (Fe) мг/л	1,53	1,2	0,3	ПНД Ф 14.1:2:4.50-96
Кальций (Ca) мг-экв/л	5,5	3,8	10,15	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000
Магний (Mg) мг-экв/л	5,0	4,0	4,26	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000
Медь (Cu) мг/л	0,13	0,04	1,0	ПНД Ф 14.1:2:4.48-96
БПК <sub>5</sub> мг/л	6,4	2,9	4,0	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97
ХПК мг/л	34,0	29,0	30,0	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03
Кадмий (Cd) мг/л	0,007	0,001	0,001	МВИ № 44-05
Свинец (Pb) мг/л	0,024	0,008	0,09	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99
Ртуть (Hg) мг/л	<0,0001	<0,0001	0,0001	МВИ № 42-05
Мышьяк (As) мг/л	0,004	0,0013	0,05	МВИ № 44-05
Сухой остаток мг/л	820,0	434,0	1000,0	ПНД Ф 14.1:2:4.114-97
Гидрокарбонаты мг/л	570,0	490,0	1000,0	ГОСТ Р 52963-2008

Таблица 2.5 – Микробиологические показатели природных вод полигона ТКО г. Гатчина

Место отбора пробы	Срок отбора	Показатель, единица измерения	Результат исследования	Гигиенический норматив	НД на методы исследования
Дренажная канава вокруг полигона	07.06.2008	Термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ), КОЕ/100 мл	$1,5 \times 10^5$	Не более 100	МУК 4.2.1884-04
		Общие колиформные бактерии (ОКБ), КОЕ/100 мл	$1,5 \times 10^5$	Не более 500	МУК 4.2.1884-04
		Коли-фаги, БОЕ/100	Не обнаружены	Не более 10	МУК 4.2.1884-04
		Возбудители кишечных инфекций, экз/1000 мл	Не обнаружены	Не допускаются	МУК 4.2.1884-04
Вода из контрольной скважины вне зоны влияния полигона	12.08.2008	Термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ), КОЕ/100 мл	0	Не более 100	МУК 4.2.1884-04
		Общие колиформные бактерии (ОКБ), КОЕ/100 мл	0	Не более 500	МУК 4.2.1884-04
		Коли-фаги, БОЕ/100	Не обнаружены	Не более 10	МУК 4.2.1884-04
		Возбудители кишечных инфекций, экз/1000 мл	Не обнаружены	Не допускаются	МУК 4.2.1884-04

Таблица 2.6 – Результаты исследования атмосферного воздуха вокруг полигона ТКО г. Гатчина

n=4, P=0,095

Место отбора проб воздуха, координаты	Дата обследования	Вещества	Концентрация в воздухе, мг/м <sup>3</sup>	ПДК м.р.	НД на методы исследования
Территория полигона * N 59°35'29'' E 30°10'18''	02.07.2008	Взвешенные вещества	0,38±0,08*	0,5	РЭ «Ганг-4»
		Аммиак	0,16±0,04	0,2	РД 52.04.186-89
		Сероводород	0,0048±0,0012	0,008	РД 52.04.186-89
		Бензол	0,086±0,022	0,3	МВИ № 66-04
		Окись углерода	2,8±0,75	5,0	РД 52.04.186-89
		Метан	<25,0	50,0	РЭ «Ганг-4»
		Хлорбензол	<0,05	0,1	МВИ № 65-04
Граница санитарно-защитной зоны полигона* N 59°35'29'' E 30°10'06''	02.07.2008	Взвешенные вещества	0,32±0,06	0,5	РЭ «Ганг-4»
		Аммиак	0,14±0,035	0,2	РД 52.04.186-89
		Сероводород	<0,004	0,008	РД 52.04.186-89
		Бензол	0,056±0,014	0,3	МВИ № 66-04
		Окись углерода	2,6±0,75	5,0	РД 52.04.186-89
		Метан	<25,0	50,0	РЭ «Ганг-4»
		Хлорбензол	<0,05	0,1	МВИ № 65-04
Территория жилой застройки, д.Ивановка* N 59°35'46'' E 30°10'12''	02.07.2008	Взвешенные вещества	0,32±0,06	0,5	РЭ «Ганг-4»
		Аммиак	0,14±0,035	0,2	РД 52.04.186-89
		Сероводород	<0,004	0,008	РД 52.04.186-89
		Бензол	0,056±0,014	0,3	МВИ № 66-04
		Окись углерода	2,6±0,75	5,0	РД 52.04.186-89
		Метан	<25,0	50,0	РЭ «Ганг-4»
		Хлорбензол	<0,05	0,1	МВИ № 65-04

\* - ошибка выборочной средней

Подводя итоги проведенной предварительной санитарно-гигиенической оценке бывшей городской полигона г.Гатчина, можно сделать вывод, что складирование (в том числе и несанкционированное) ТКО зоны. Это проявляется, прежде всего, в резком ухудшении санитарно-бактериологических показателей почвогрунтов до категории «Опасная», а также химическом и бактериологическом загрязнении природных вод. Для пробы воды, отобранной из дренажной канавы ниже полигона, отмечено превышение установленных показателей по содержанию иона аммония, хлоридов, железа, кадмия и окисляемости (БПК<sub>5</sub> и ХПК), а также по санитарно-бактериологическим показателям, а именно по содержанию колиформных и термотолерантных колиформных бактерий. Вода из скважины, расположенной вне зоны влияния полигона, а также атмосферный воздух на территории и в пределах ее санитарно-защитной зоны остались незагрязненными.

Эти обстоятельства обуславливают необходимость проведения рекультивации полигона, поскольку очевидно, что без специальных мероприятий санитарно-гигиенического направления она будет являться источником постоянной экологической опасности для прилегающих территорий.

### **2.1.2. Характеристика органогенных субстратов, используемых при рекультивации**

В качестве плодородного слоя, используемого при проведении рекультивации, использовали следующие виды органогенных субстратов: кофейный жмых, компост ТКО и осадок сточных вод. Поскольку все вышеперечисленные, использующиеся при рекультивации полигона ТКО г.Гатчина органогенные субстраты характеризуются новизной (или абсолютной, как в случае с кофейным жмыхом, или производятся после реконструкции и ввода в эксплуатацию новых технологических схем и производственных линий, как компост ТКО или ОСВ), рассмотрим их характеристику более подробно.

Кофейный жмых – является отходом производства вкусовых продуктов (сублимированного кофе), образовавшимся в результате деятельности предприятия ООО «Крафт Фудс Рус», Ленинградская обл. Согласно выданным ФГУЗ «Центр

гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург» заключениям, относится к отходам IV класса опасности, является нетоксичным и может быть использован к размещению на полигонах ТКО в качестве рекультивационного материала.

Компост ТКО – является продуктом переработки ТКО на заводе МПБО-2, п.Янино Ленинградской обл. Производится методом аэробного биотермического компостирования и применяется при достижении состояния зрелости. Характеризуется допустимыми концентрациями загрязняющих веществ (тяжелых металлов, мышьяка, нефтепродуктов, бенз(а)пирена), отсутствием патогенной микрофлоры и яиц гельминтов, нетоксичен, относится к IV классу опасности и, согласно экспертного заключения ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург», может быть использован в качестве вторичного сырья как самостоятельный строительный материал или рекультивационный почвогрунт на полигонах захоронения ТКО.

Осадок сточных вод – обработанный осадок с иловых площадок, образующийся на канализационных очистных сооружениях МУП «Водоканал», г.Гатчина, производится по внедренной в 2012 году технологии с применением реагентов полиакриламидов и последующим обезвоживанием осадка. По результатам лабораторных исследований, содержание меди, свинца и цинка в ОСВ находится в пределах допустимых концентраций, жизнеспособных яиц гельминтов, патогенных бактерий не обнаружено, на основании чего по заключению ГУ «Центр государственного санитарно-эпидемиологического надзора в Гатчинском районе» данный отход был отнесен к IV классу опасности (нетоксичный) и допущен к размещению на полигоне ТКО в качестве рекультивационного материала.

Таким образом, все три органических субстрата, обладающие удовлетворительными санитарно-гигиеническими характеристиками, были допущены к применению в качестве рекультивационного материала для полигонов ТКО. Однако опыта их использования мало, а в случае с кофейным жмыхом – просто нет, поэтому необходимы исследования, которые осветили бы изменение химических и токсикологических параметров насыпных почвогрунтов, созданных

на основе этих субстратов, по мере включения их в биологический круговорот, а также их экологические особенности, а именно: скорость самозарастания, состав формирующихся на них растительных сообществ, величину надземной биомассы и другие параметры.

Кофейный жмых и компост ТКО используются при рекультивации полигона с 2009 года, то есть к настоящему времени уже 5 лет, а ОСВ Гатчинского «Водоканала» - с 2012 г. В ходе проведения рекультивационных работ все вышеперечисленные органогенные субстраты наносили в виде потенциально плодородного слоя мощностью от 1 м до 2 м отдельными картами разной площади и оставляли под самозарастание. Таким образом, к настоящему времени сформировался опытный участок, состоящий из карт, перекрытых рекультивационным материалом, представленным тремя разными органогенными субстратами различных сроков экспонирования и, соответственно, разного времени самозарастания – от 1 года до 4 лет. Размеры площадей картов варьируют от 20-50 м<sup>2</sup> (ОСВ) до 0,5-1,0 га (компост ТКО, кофейный жмых). Наблюдения за эколого-гигиеническими и биологическими параметрами зарастающих рекультивированных площадок-картов проводили для следующих вариантов опыта, представленных в таблице 2.7. Схема расположения площадок, рекультивированных с использованием исследуемых органогенных субстратов, приведена на рисунке 2.2.

Эти варианты опыта были дополнены наблюдениями на двух иловых площадках длительного хранения ОСВ, принадлежащих Гатчинскому «Водоканалу» со сроками экспонирования 7 лет и 20 лет.

## **2.2. Методы исследования**

На территории рекультивируемого полигона ТКО, в том числе на всех опытных площадках проводили следующие исследования:

Агрохимические показатели органогенных субстратов определяли общепринятыми методами (Агрохимические методы..., 1975; ГОСТ Р 54650-2011, ГОСТ Р 26489-85, ГОСТ Р 26951-86).

Таблица 2.7 – Варианты опытных площадок рекультивации полигона ТКО с использованием разных видов органомогенных субстратов

№ п/п	Вид органомогенного субстрата, используемого в качестве рекультивационного материала	Срок экспонирования (самозарастания), годы
1	Компост ТКО	0*
2		1
3		2
4		3
5	ОСВ	0*
6		1
7		2
8	Кофейный жмых	0*
9		1
10		2
11		4
12	Контроль (дерново-подзолистая почва СЗЗ)	1

\* - свежие субстраты, поступившие на полигон для рекультивации.

Определение санитарно-химических показателей почвогрунтов, природных вод и атмосферного воздуха проводили по нормируемым показателям в соответствии с требованиями СанПиН 2.1.7.1287-03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы», СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод», СанПиН 2.1.6.1032-01 «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест» и другими нормативными документами. Полученные результаты сравнивались с установленными нормативами, ПДК и ОДК.

Содержание тяжелых металлов определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой, а также методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии.



Нефтепродукты в природных водах определяли флюориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02».

Взвешенные вещества в природных водах определяли гравиметрическим методом.

Состав атмосферного воздуха определен на хроматографе «ФГХ-1» и газоанализаторе «ГАНГ-4».

Санитарно-бактериологические и санитарно-паразитологические исследования почвогрунтов и природных вод проводили в Испытательном Лабораторном Центре при филиале ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Ленинградской области в Гатчинском районе», аккредитованных на данные виды исследований.

Фитотоксичность субстратов, используемых при рекультивации полигона ТКО определяли по «Методике выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно-загрязненных почв». ФР.1.39.2006.02264. (2009). В качестве тест-культур использовали семена овса и пшеницы.

Экотоксикологические параметры водных вытяжек из субстратов определяли методом биотестирования на гидробионтах – дафниях *Daphnia magna* Straus и инфузориях *Paramecia caudatum*. Подробно методики описаны в соответствующей главе.

Надземную биомассу растительности определяли методом укоса с учетных площадок размером 1 м<sup>2</sup> в 4-х кратной повторности.

Геоботанические описания растительности проводили согласно общепринятым методикам. Описания растительности проводились стандартным методом геоботанических описаний на пробных площадках 5×5 м (Миркин и др., 2002) на каждом участке с однотипным субстратом и с однородными пространственно-временными параметрами. Таким образом, ряд для субстрата из кофейного жмыха составляет 4 года, для субстрата из компоста - 3 года, для

субстрата из осадка сточных вод (ОСВ) - 2 года. Помимо этого, для выявления флористического состава осуществлялись маршрутные исследования всех участков полигона, в результате были составлены списки всех произрастающих видов для каждого типа и возраста субстрата.

Химические исследования растительности и плодовоовощной продукции проводили согласно ГОСТ 30349-96, МВИ ФР 1 31.2002.00591 и МВИ ФР 1 31.2002.00592

Полученные результаты обрабатывались методами вариационной статистики при помощи программ Microsoft Office Excel 2007, Statistica 10.0, «Origin Pro».

Опыты проводили в 4-х кратной повторности. Результаты эксперимента обработаны методами математической статистики (Доспехов, 2011). Среднее арифметическое значение всех измерений ( $x_{cp}$ ) вычисляли по формуле 2.1.

$$x_{cp} = \frac{\sum x}{n}, \quad (2.1)$$

где  $\sum x$  – сумма всех значений отдельных измерений;

$n$  – общее число измеренных значений.

В качестве меры разброса значений от средней величины применяли среднее квадратическое отклонение среднего арифметического значения, рассчитанное по формуле 2.2.

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X-x)^2}{n-1}}, \quad (2.2)$$

где  $(X - x)$  - отклонение каждого значения от среднеарифметической;

$\sum (X - x)^2$  - сумма всех квадратов отклонений;

$(n - 1)$  - число степеней свободы.

Ошибку среднего арифметического ( $S_{x_{cp}}$ ) определяли по формуле 2.3.

$$S_{x_{cp}} = \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (2.3)$$

где  $S$  - среднее квадратическое отклонение;

$n$  – количество измерений.

Оценку значимости различий между найденными в опытах и контрольных вариантах величинами проводили с помощью критерия Стьюдента (t) по формуле 2.4.

$$t = \frac{x_{cp1} - x_{cp2}}{\sqrt{S_{x_{cp1}}^2 + S_{x_{cp2}}^2}}, \quad (2.4)$$

Рассчитанный на основании экспериментальных данных t-критерий сравнивали с табличными значениями, учитывая число степеней свободы. Уровень достоверности полученных данных не ниже 90%, что является допустимым для исследования биологических систем.

Формулы для биотестирования.

Биотестирование с использованием в качестве тест-объекта дафний *Daphnia magna* St.

Проводилось для проб воды и водных вытяжек из почв, почвогрунтов и грунтов (песка). Водную вытяжку из исследуемых проб почвогрунтов, согласно используемой методике, готовили путем смешивания 1 части грунта и 10 частей жидкости. В качестве жидкости использовали культивационную воду (биологически очищенная вода для культивирования дафний). Смесь перемешивалась на мешалке в течение 7-8 часов, а затем оставлялась на ночь (12 часов) для отстаивания. Затем жидкость профильтровывалась через фильтр «белая лента» на воронке Бюхнера. Повторность опыта 3-кратная.

Критерием острой токсичности на дафниях (A) являлась гибель более 50% организмов в тестируемых пробах за 96 часов по сравнению с контролем (при условии, что в контроле гибель не превышала 10%), который определялся по формуле 2.5.

$$A = \frac{(X_k - X_i) * 100}{X_k}, \quad (2.5)$$

где  $X_k$  – количество выживших дафний в контроле;

$X_i$  – количество выживших дафний в тестируемой воде.

Биотестирование с использованием инфузорий *Tetrahymena pyriformis* на приборе «Битестер-2».

Метод определения токсичности водной среды основан на хемотаксической реакции инфузорий (способности инфузорий реагировать на присутствие в водной среде веществ, представляющих опасность для их жизнедеятельности, и направленно перемещаться по градиенту концентраций в направлении уменьшения концентраций этих веществ, избегая их вредного воздействия). Хемотаксическая реакция реализуется при условии наличия стабильного во времени градиента концентраций химических веществ. Подобный градиент создается путем наложения в вертикальной кювете (пробирке) на взвесь инфузорий в загустителе испытуемой жидкости. При этом в измерительной кювете образуется стабильная граница раздела, сохраняемая в течение всего времени биотестирования. Эта граница не препятствует свободному перемещению инфузорий в предпочтительном для них направлении и при этом предотвращает перемешивание жидкостей из нижней и верхней зон. После создания в кювете двух зон в течение 30 минут происходит перераспределение инфузорий по зонам. Чем выше токсичность пробы, тем меньшая доля инфузорий будет перемещаться в верхнюю зону (исследуемую пробу). Критерием токсичности в данном методе является индекс токсичности ( $T$ ) - безразмерная величина, принимающая значения от 0 до 1 в соответствии со степенью токсичности анализируемой пробы. Индекс токсичности определяется по формуле 2.6.

$$T = \frac{I_{\text{ср.к.}} - I_{\text{ср.а.}}}{I_{\text{ср.к.}}}, \quad (2.6)$$

где  $I_{\text{ср.к.}}$ ,  $I_{\text{ср.а.}}$  — средние показания прибора для контрольных и анализируемых проб соответственно.

По величине индекса  $T$  анализируемые пробы классифицируются по степени их токсичности на 3 группы:

- I - допустимая степень токсичности ( $0 < T < 0,40$ )
- II - умеренная степень токсичности ( $0,40 < T < 0,70$ )
- III - высокая степень токсичности ( $T > 0,70$ )

В случае положительной реакции инфузорий (концентрировании их в зоне с испытуемой пробой) при расчете индекса токсичности  $T$  получаются

отрицательные величины. В таком случае индекс токсичности приравнивается к нулю, и проба оценивается как нетоксичная.

Фитотестирование для определения токсичности почв, почвогрунтов и грунтов. ФР.1.39.2006.02264. Данный метод определения фитотоксичности является контактным, или субстратным. Методика субстратного биотестирования разработана в Научно-исследовательском центре экологической безопасности РАН, прошла метрологическую аттестацию и допущена для целей государственного экологического контроля. В качестве тест-культуры, согласно методике, применяется пшеница мягкая – *Triticum aestivum* L. (Методика выполнения..., 2009). Семена проращивали в условиях лаборатории в чашках Петри, поддерживая влажность испытуемых проб (почв, почвогрунтов и песка) на уровне 60% от полной влагоемкости. Контроль – промытый кварцевый песок. Повторность каждого варианта в опытах 4-кратная.

Уровень токсичности загрязненных почв определяется по снижению всхожести семян ( $N_1$ , %) и угнетению корней ( $N_2$ , %) по сравнению с контрольной пробой. Величины  $N_1$  и  $N_2$  рассчитывали по следующей формуле 2.7.

$$N = \frac{(M_k - M_i) * 100}{M_k}, \quad (2.7)$$

где  $N$  – степень изменения контролируемого параметра (длины корней проростка или всхожести семян) по сравнению с контрольным образцом (%);

$M_k$  – среднее значение параметра контрольного образца;

$M_i$  – среднее значение параметра испытуемого образца.

Критерии степени токсичности почв согласно методике приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Критерии степени токсичности техногенно загрязненных почв

Степень токсичности	$N_1$ , %	$N_2$ , %
V – практически нетоксичные	$0 < N \leq 20$	$0 < N \leq 20$
IV – малотоксичные	$20 < N \leq 20$	$20 < N \leq 50$
III – умеренно токсичные	$20 < N \leq 70$	$50 < N \leq 70$
II – опасно токсичные	$70 < N \leq 100$	$70 < N \leq 100$
I – высоко токсичные	$N=100$	$N=100$

### **3. ИЗМЕНЕНИЕ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИРОДНЫХ СРЕД ВСЛЕДСТВИЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЛИГОНА ТКО**

#### **3.1. Изменение санитарно-гигиенических показателей почвогрунтов санитарно-защитной зоны рекультивируемого полигона ТКО**

Для санитарно-химической характеристики почвогрунтов рекультивируемого полигона образцы отбирали в пределах санитарно-защитной зоны (СЗЗ) с глубины 0-20 см. Химическое исследование проводилось по восьми нормируемым показателям, включая тяжелые металлы (цинк, кадмий, свинец, медь, никель, ртуть), мышьяк, нефтепродукты и бенз(а)пирен. Обследование проводили в 2011 и 2013 годах. Полученные результаты представлены в таблице 3.1

По результатам химических исследований почвогрунты территории СЗЗ в 2011 г. относились к категории «Допустимая» по валовому содержанию меди, в 2012-2013 г.г. – к категории «Чистая». Таким образом, в целом весьма благополучное в отношении химического загрязнения состояние почвогрунтов санитарно-защитной зоны за период проведения исследований еще улучшилось, и отобранные образцы почвогрунтов по изученным показателям в соответствии с требованиями СанПиН 2.1.7.1287-03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы» ни по одному из контролируемых показателей не превышали установленных нормативов.

Результаты санитарно-бактериологических и паразитологических исследований, проведенные в 2011-2013 годах, приведены в таблице 3.2.

Как свидетельствуют полученные данные, все исследованные пробы почвогрунтов с территории рекультивируемого полигона и ее санитарно-защитной зоны в соответствии с требованиями СанПиН 2.1.7.1287-03 относятся к категории «Чистая».

Таблица 3.1 – Химическая характеристика почвогрунтов территории СЗЗ рекультивируемого полигона г.Гатчина, глубина отбора проб 0-20 см

Дата исследования	Показатель	Результаты определений (валовая форма), мг/кг	Допустимый уровень (валовая форма), мг/кг	НД на методы исследования
04.08.2011	рН	7,5	по факту	ГОСТ 26483-85
	Нефтепродукты	<50,0	1000,0	ПНДФ 16.1:2.21-98
	бенз(а)пирен	<0,005	0,02	ПНДФ 16.1:2:2.2:3.39-03
	Цинк (Zn), мг/кг	22,2	220	ПНДФ 16.1:2:2.2:2.3.46-06
	Кадмий (Cd), мг/кг	0,6	2,0	МВИ НПП «Буревестник» № 45-05
	Свинец (Pb), мг/кг	12,4	130	МВИ НПП «Буревестник» № 45-05
	Медь (Cu), мг/кг	133,5	132	МВИ НПП «Буревестник» № 45-05
	Никель (Ni), мг/кг	4,5	80	МВИ НПП «Буревестник» №5-10
	Ртуть (Hg), мг/кг	1,0	2,1	МВИ НПП «Буревестник» № 74-06
Мышьяк (As),мг/кг	5,3	10	МВИ НПП «Буревестник» №71-04	
18.10.2013	рН	6,58	по факту	ГОСТ 26483-85
	Нефтепродукты	294,0	1000,0	ПНДФ 16.1:2.21-98
	бенз(а)пирен	<0,005	0,02	ПНДФ 16.1:2:2.2:3.39-03
	Цинк (Zn), мг/кг	46,4	220	ПНДФ 16.1:2:2.2:2.3.46-06
	Кадмий (Cd), мг/кг	0,38	2,0	МВИ НПП «Буревестник» № 45-05
	Свинец (Pb), мг/кг	42,1	130	МВИ НПП «Буревестник» № 45-05
	Медь (Cu), мг/кг	51,1	132	МВИ НПП «Буревестник» № 45-05
	Никель (Ni), мг/кг	3,9	80	МВИ НПП «Буревестник» №5-10
	Ртуть (Hg), мг/кг	0,4	2,1	МВИ НПП «Буревестник» № 74-06
Мышьяк (As),мг/кг	0,7	10	МВИ НПП «Буревестник» №71-04	

Таблица 3.2 – Санитарно-бактериологические и паразитологические показатели почвогрунтов СЗЗ рекультивируемого полигона г. Гатчина

Дата	Показатели	Результаты исследований	Величина допустимого уровня				НД на методы исследований
			чистая	умеренно опасная	Опасная	чрезвычайно опасная	
04.08.2011	Санитарно-бактериологические показатели						
	Индекс БГКП (колиформы), кл/г	10	1-10	10-100	100-1000	≥1000	МР № ФЦ/4022
	Индекс энтерококков, кл/г	<1	1-10	10-100	100-1000	≥1000	МР № ФЦ/4022
	Патогенные бактерии, в т.ч. сальмонеллы, кл/кг	не обнаружены	0	0	0	0	МР № ФЦ/4022
			до 5		выше 5		
09.10.2013	Санитарно-бактериологические показатели						
	Индекс БГКП (колиформы), кл/г	10	1-10	10-100	100-1000	≥1000	МР № ФЦ/4022
	Индекс энтерококков, кл/г	<1	1-10	10-100	100-1000	≥1000	МР № ФЦ/4022
	Патогенные бактерии, в т.ч. сальмонеллы, кл/кг	не обнаружены	0	0	0	0	МР № ФЦ/4022
	Санитарно-паразитологические показатели						
	Яйца и личинки гельминтов, экз/кг	не обнаружены	0	до 10	до 100	более 100	МУК 4.2.2661-10
Цисты кишечных патогенных простейших, экз/100 г	не обнаружены	Чистая		Загрязненная		МУК 4.2.2661-10	
		до 5		выше 5			
		до 5		выше 5			



### 3.2. Изменение санитарно-гигиенических показателей природных вод рекультивируемого полигона ТКО

Обследование природных вод проводили, отбирая пробы в дренажной канаве, устроенной вокруг территории полигона (в 2011, 2012 и 2013 годах), и в смотровой скважине с глубины 12 м (в 2011 и в 2013 годах). Процесс отбора проб представлен на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Отбор проб воды в рамках программы мониторинга

В отобранных пробах определяли основные нормируемые показатели (17 наименований). Полученные результаты обобщены в таблице 3.3. Установлено, что почти все исследованные пробы воды за все три года наблюдений не соответствовали требованиям СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод», однако при этом качество природных вод по сравнению с 2008 г. улучшилось. Все пробы, отобранные из дренажной канавы выше и ниже полигона в 2011-2013 годах, характеризуются повышенным

содержанием железа и высокой окисляемостью (БПК<sub>5</sub> и ХПК), а в 2008 г. они были загрязнены еще кадмием, хлоридами и ионом аммония. Проба воды из смотровой скважины в 2011 г. превышала допустимый норматив только по содержанию железа, а в 2013 г. полностью соответствовала санитарно-гигиеническим требованиям. Таким образом, проводимые мероприятия по рекультивации полигона способствуют очищению поверхностных вод и улучшению их химических показателей.

Изучение микробиологических показателей природных вод выявило (табл. 3.4), что за все три года наблюдений проба воды из дренажной канавы вокруг полигона не соответствовала требованиям СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод» по санитарно-бактериологическим показателям, в первую очередь по содержанию общих колиформных и термотолерантных колиформных бактерий.

При этом во всех трех случаях содержание этих бактерий в дренажной канаве, расположенной ниже полигона, было всегда больше, чем в канаве выше полигона. В то же время проба воды из контрольной скважины вне зоны влияния полигона оказалась чистой и соответствовала требованиям СанПиН 2.1.5.980-00.

В целом необходимо отметить, что по санитарно-бактериологическим показателям к 2013 году качество поверхностных вод в дренажной канаве вокруг рекультивируемого полигона улучшилось, поскольку общее содержание колиформных и термотолерантных бактерий по сравнению с аналогичными показателями 2008 года уменьшилось почти на два порядка (с  $1,5 \times 10^5$  до  $4,5 \times 10^3$  КОЕ/100 мл).

Таблица 3.3 – Химический состав природных вод на территории рекультивируемого полигона

Показатель	Место отбора пробы			Допустимый уровень, не более	НД на методы исследования
	Дренажная канава ниже полигона	Дренажная канава выше полигона	Смотровая скважина		
1	2	3	4	5	6
25.08.2011					
рН	7,93	7,54	7,6	6-9	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97
Ион аммония (NH <sub>4</sub> ) мг/л	2,1	2,07	0,82	2,0	ПНД Ф 14.1:2.1-95
Нитрит-ион (NO <sub>2</sub> ) мг/л	0,14	0,2	0,25	3,0	ПНД Ф 14.1:2:4.3-95
Нитрат-ион (NO <sub>3</sub> ) мг/л	0,02	0,1	0,03	45,0	ПНД Ф 14.1:2:4.4-95
Хлориды (Cl) мг/л	302,3	333,8	17,7	350,0	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99
Сульфаты (SO <sub>4</sub> ) мг/л	17,3	13,1	9,9	500	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99
Железо (Fe) мг/л	1,66	2,85	1,85	0,3	ПНД Ф 14.1:2:4.50-96
Кальций (Ca) мг-экв/л	4,7	5,0	4,0		ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000
Магний (Mg) мг-экв/л	4,3	4,4	3,2		ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000
Жесткость общая, моль/л	не опр.	не опр.	7,2	7	
Медь (Cu) мг/л	<0,002	<0,002	<0,002	1,0	ПНД Ф 14.1:2:4.48-96
БПК <sub>5</sub> мг/л	49,8	54,1	1,6	4,0	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97
ХПК мг/л	79,3	80,5	не опр.	30,0	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03
Кадмий (Cd) мг/л	<0,001	<0,001	не опр.	0,001	МВИ № 44-05
Ртуть (Hg) мг/л	<0,0001	<0,0001	не опр.	0,0001	МВИ № 42-05
Мышьяк (As) мг/л	<0,002	<0,002	не опр.	0,05	МВИ № 44-05
Сухой остаток мг/л	526,0	536,0	не опр.	1000,0	ПНД Ф 14.1:2:4.114-97
Гидрокарбонаты мг/л	470,0	469,8	не опр.		ГОСТ Р 52963-2008

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3	4	5	6
06.08.2012					
рН	7,6	7,5	не опр.	6-9	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97
Ион аммония (NH <sub>4</sub> ) мг/л	2,5	2,92	не опр.	2,0	ПНД Ф 14.1:2.1-95
Нитрит-ион (NO <sub>2</sub> ) мг/л	<0,02	<0,02	не опр.	3,0	ПНД Ф 14.1:2:4.3-95
Нитрат-ион (NO <sub>3</sub> ) мг/л	0,1	0,25	не опр.	45,0	ПНД Ф 14.1:2:4.4-95
Хлориды (Cl) мг/л	115,5	114,1	не опр.	350,0	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99
Сульфаты (SO <sub>4</sub> ) мг/л	10,9	6,7	не опр.	500	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99
Железо (Fe) мг/л	0,94	0,63	не опр.	0,3	ПНД Ф 14.1:2:4.50-96
Кальций (Ca) мг/л	82,8	81,5	не опр.		ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000
Магний (Mg) мг/л	51,1	49,7	не опр.		ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000
Медь (Cu) мг/л	0,016	0,015	не опр.	1,0	ПНД Ф 14.1:2:4.48-96
БПК <sub>5</sub> мг/л	13,7	12,5	не опр.	4,0	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97
ХПК мг/л	44,7	39,8	не опр.	30,0	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03
Кадмий (Cd) мг/л	<0,0005	<0,0005	не опр.	0,001	МВИ № 44-05
Ртуть (Hg) мг/л	<0,0002	<0,0002	не опр.	0,0001	МВИ № 42-05
Мышьяк (As) мг/л	<0,001	<0,001	не опр.	0,05	МВИ № 44-05
Сухой остаток мг/л	421,0	410,5	не опр.	1000,0	ПНД Ф 14.1:2:4.114-97
Гидрокарбонаты мг/л	366,0	372,0	не опр.		ГОСТ Р 52963-2008
09.10.2013					
рН	7,4	7,47	7,5	6-9	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97
Ион аммония (NH <sub>4</sub> ) мг/л	1,23	1,15	1,41	2,0	ПНД Ф 14.1:2.1-95
Нитрит-ион (NO <sub>2</sub> ) мг/л	0,035	0,045	0,02	3,0	ПНД Ф 14.1:2:4.3-95
Нитрат-ион (NO <sub>3</sub> ) мг/л	0,65	0,69	11,1	45,0	ПНД Ф 14.1:2:4.4-95

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3	4	5	6
Хлориды (Cl) мг/л	212,5	210,6	39,7	350,0	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99
Сульфаты (SO <sub>4</sub> ) мг/л	22,6	29,2	88,4	500	ПНД Ф 14.1:2:4.157-99
Железо (Fe) мг/л	0,39	0,48	0,14	0,3	ПНД Ф 14.1:2:4.50-96
Кальций (Ca) мг/л	64,5	70,2	95,5		ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000
Магний (Mg) мг/л	44,3	47,0	40,2		ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000
Медь (Cu) мг/л	не опр.	не опр.	не опр.	1,0	ПНД Ф 14.1:2:4.48-96
БПК <sub>5</sub> мг/л	17,3	16,8	3,8	4,0	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97
ХПК мг/л	43,2	42,2	12,0	30,0	ПНД Ф 14.1:2:4.190-03
Кадмий (Cd) мг/л	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,001	МВИ № 44-05
Свинец (Pb) мг/л	<0,0005	<0,0005	<0,0005		
Ртуть (Hg) мг/л	<0,000005	<0,000005	<0,000005	0,0001	МВИ № 42-05
Мышьяк (As) мг/л	<0,001	<0,001	<0,001	0,05	МВИ № 44-05
Сухой остаток мг/л	492,0	499,5	422,5	1000,0	ПНД Ф 14.1:2:4.114-97
Гидрокарбонаты мг/л	402,6	414,8	555,1		ГОСТ Р 52963-2008

Таблица 3.4 – Микробиологические показатели природных вод рекультивируемого полигона ТКО, г. Гатчина

Место отбора пробы	Срок отбора	Показатель, единица измерения	Результат исследования	Гигиенический норматив	НД на методы исследования
Вода из контрольной скважины вне зоны влияния полигона	25.08.2011	Общее микробное число, КОЕ/мл	4	Не более 50	МУК 4.2.1884-04
		Термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ)	Не обнаружены	Отсутствие в 100 мл	МУК 4.2.1884-04
		Общие колиформные бактерии (ОКБ), КОЕ/100 мл	Не обнаружены	Отсутствие в 100 мл	МУК 4.2.1884-04
		Коли-фаги, БОЕ/100	Не обнаружены	Отсутствие в 100 мл	МУК 4.2.1884-04
Дренажная канава ниже полигона	22.07.2011	Общие колиформные бактерии (ОКБ), КОЕ/100 мл	$8,0 \times 10^2$	Не более 500	МУК 4.2.1884-04
		Термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ)	$8,0 \times 10^2$	Не более 100	МУК 4.2.1884-04
		Коли-фаги, БОЕ/100	Не обнаружены	Не более 10	МУК 4.2.1884-04
		Возбудители кишечных инфекций, экз/1000 мл	Не обнаружены	Не допускаются	МУК 4.2.1884-04
Дренажная канава выше полигона	22.07.2011	Общие колиформные бактерии (ОКБ), КОЕ/100 мл	$6,0 \times 10^2$	Не более 500	МУК 4.2.1884-04
		Термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ)	$6,0 \times 10^2$	Не более 100	МУК 4.2.1884-04
		Коли-фаги, БОЕ/100	Не обнаружены	Не более 10	МУК 4.2.1884-04
		Возбудители кишечных инфекций, экз/1000 мл	Не обнаружены	Не допускаются	МУК 4.2.1884-04
Дренажная канава ниже полигона	06.08.2012	Общие колиформные бактерии (ОКБ), КОЕ/100 мл	$3,5 \times 10^5$	Не более 500	МУК 4.2.1884-04
		Термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ)	0	Не более 100	МУК 4.2.1884-04
		Коли-фаги, БОЕ/100	Не обнаружены	Не более 10	МУК 4.2.1884-04

		Возбудители кишечных инфекций, экз/1000 мл	Не обнаружены	Не допускаются	МУК 4.2.1884-04
Продолжение таблицы 3.4					
Дренажная канава выше полигона	06.08.2012	Общие колиформные бактерии (ОКБ), КОЕ/100 мл	$5,0 \times 10^4$	Не более 500	МУК 4.2.1884-04
		Термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ)	0	Не более 100	МУК 4.2.1884-04
		Коли-фаги, БОЕ/100	Не обнаружены	Не более 10	МУК 4.2.1884-04
		Возбудители кишечных инфекций, экз/1000 мл	Не обнаружены	Не допускаются	МУК 4.2.1884-04
Дренажная канава выше полигона	09.10.2013	Общие колиформные бактерии (ОКБ), КОЕ/100 мл	$4,5 \times 10^3$	Не более 500	МУК 4.2.1884-04
		Термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ), КОЕ/100 мл	$4,5 \times 10^3$	Не более 100	МУК 4.2.1884-04
		Коли-фаги, БОЕ/100	Не обнаружены	Не более 10	МУК 4.2.1884-04
		Возбудители кишечных инфекций, экз/1000 мл	Не обнаружены	Не допускаются	МУК 4.2.1884-04
Дренажная канава ниже полигона	09.10.2013	Общие колиформные бактерии (ОКБ), КОЕ/100 мл	$7,5 \times 10^3$	Не более 500	МУК 4.2.1884-04
		Термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ), КОЕ/100 мл	$7,5 \times 10^3$	Не более 100	МУК 4.2.1884-04
		Коли-фаги, БОЕ/100	Не обнаружены	Не более 10	МУК 4.2.1884-04
		Возбудители кишечных инфекций, экз/1000 мл	Не обнаружены	Не допускаются	МУК 4.2.1884-04



### 3.3. Изменение санитарно-гигиенических показателей атмосферного воздуха рекультивируемого полигона ТКО

Изучение химического состава атмосферного воздуха проводилось в 2011 году на границе санитарно-защитной зоны полигона. Условия отбора: температура воздуха 22,8°C, влажность 56%, скорость движения воздуха 1-2 м/с, атмосферное давление 753 мм рт.ст., направление ветра – южный, юго-восточный. Определяли содержание основных нормируемых показателей, в том числе взвешенные вещества, аммиак, сероводород, бензол, оксид углерода, метан и хлорбензол. Процесс отбора проб воздуха отражен на рисунке 3.2, а полученные результаты приведены в таблице 3.5.



Рисунок 3.2 – Отбор проб воздуха в рамках программы мониторинга

Установлено, что содержание заявленных веществ согласно СанПиН 2.1.6.1032-01 «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест» соответствует требованиям ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно-допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест». Таким образом, воздух над территорией полигона был чистым как до рекультивации, так и во время ее проведения.



Таблица 3.5 – Результаты исследования атмосферного воздуха вокруг полигона ТКО г. Гатчина. Дата обследования 02.08.2011.

n=4, P=0,095

Место отбора проб воздуха, координаты,	Вещества	Концентрация в воздухе, мг/м <sup>3</sup>	ПДК м.р.	НД на методы исследования
На границе санитарно-защитной зоны полигона N 59°35'29'' E 30°10'06''	Взвешенные вещества	0,26±0,05*	0,5	РЭ «Ганг-4»
	Аммиак	0,12±0,02	0,2	РД 52.04.186-89
	Сероводород	<0,004	0,008	РД 52.04.186-89
	Бензол	0,052±0,013	0,3	МВИ № 66-04
	Окись углерода	0,58±0,75	5,0	РД 52.04.186-89
	Метан	<25,0	50,0	РЭ «Ганг-4»
	Хлорбензол	<0,05	0,1	МВИ № 65-04

\* - ошибка выборочной средней

#### Выводы:

1. Сравнительно благополучное в отношении химического загрязнения состояние почвогрунтов санитарно-защитной зоны полигона ТКО за время проведения рекультивационных работ улучшилось. К 2013 году почвогрунты рекультивируемой территории по всем контролируемым показателям соответствовали требованиям СанПиН 2.1.7.1287-03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы».

2. Существенно улучшились ранее неудовлетворительные санитарно-бактериологические показатели почвогрунтов. Если в 2008 г. они относились к категории «Опасная», то в 2013 году все исследованные пробы почвогрунтов в

соответствии с требованиями СанПиН 2.1.7.1287-03 относились к категории «Чистая».

3. Проводимые мероприятия по рекультивации полигона способствуют очищению поверхностных вод и улучшению их химических показателей. Начиная с 2011 года, поверхностные воды превышают установленные нормативы по трем параметрам вместо шести в 2008 г. Проба воды из смотровой скважины вне зоны влияния полигона в 2013 г. полностью соответствовала санитарно-гигиеническим требованиям.

4. По санитарно-бактериологическим показателям к 2013 году качество поверхностных вод в дренажной канаве вокруг рекультивируемого полигона также улучшилось, хотя и осталось в целом неудовлетворительным. Общее содержание колиформных и термотолерантных бактерий по сравнению с аналогичными показателями 2008 года уменьшилось почти на два порядка (с  $1,5 \times 10^5$  до  $4,5 \times 10^3$  КОЕ/100 мл).

5. Химический состав атмосферного воздуха территории полигона соответствует гигиеническим нормативам.

## **4. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОРГАНОГЕННЫХ СУБСТРАТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЛИГОНОВ ТКО**

### **4.1. Агрохимические свойства органогенных субстратов**

Известно, что пригодность субстратов в качестве плодородного грунта для продуктивного роста растений определяется прежде всего их агрохимическими свойствами. В этой связи были проведены исследования органогенных грунтов, используемых при рекультивации полигона ТКО, которые позволили дать их агрохимическую характеристику по показателям кислотно-основных свойств и содержанию основных питательных элементов.

Изучение кислотно-основных свойств органогенных грунтов выявило их существенные различия (табл. 4.1).

Осадок сточных вод (ОСВ) всех площадок полигона был практически нейтральным, и значения  $pH_{водн.}$  составляли 6,51-6,96 единиц pH. Значения  $pH_{сол.}$  были ниже  $pH_{водн.}$  на 0,2-0,3 единицы pH. С учетом пространственной вариабельности изменения величин pH в течение изученного периода экспонирования ОСВ недостоверны. Содержание обменных оснований было высоким и колебалось от 171 до 185 ммоль-экв/100 г субстрата. Величина гидролитической кислотности была низкой (для органогенных грунтов), и уменьшилась в течение времени экспонирования вдвое с 12,9 до 6,1 ммоль-экв/100 г субстрата. Степень насыщенности грунта основаниями была очень высокой во всех вариантах опыта и составляла 93-98 % и в свежем ОСВ, и в ОСВ после 2-х лет экспонирования. В целом необходимо подчеркнуть, что кислотно-основные свойства ОСВ как в свежем состоянии, так и после двухлетнего экспонирования и самозаращения характеризуются благоприятными параметрами, вследствие чего ОСВ как грунт не нуждается в известковании.

Компост из ТКО, который размещен на четырех опытных площадках, также характеризовался близкой к нейтральной реакции среды, которая не снижалась ниже 6,53 в водной суспензии.

Таблица 4.1 – Кислотно-основные свойства органогенных субстратов

n=4, P=0,095

Субстрат	Год экспонирования	pH		S	Hг	V
		водн.	сол.	ммоль-экв/100 г почвы		
ОСВ	0*	6,51±0,08**	6,33±0,08	173,8±5,2	12,9±2,6	93,1
	1	6,96±0,09	6,75±0,09	171,2±6,5	10,5±1,9	94,2
	2	6,75±0,08	6,43±0,09	185,0±6,8	6,1±1,2	96,8
Компост из ТКО	0*	7,12±0,09	6,91±0,08	205,0±7,2	3,5±0,8	98,3
	1	6,80±0,10	6,51±0,09	201,2±6,3	4,4±1,1	97,8
	2	6,53±0,08	6,12±0,09	211,2±5,2	5,2±1,2	97,6
	3	6,65±0,09	6,34±0,08	210,0±6,9	3,5±1,0	98,4
Кофейный жмых	0*	5,08±0,08	4,13±0,08	1,2±0,5	84,0±5,2	1,4
	1	5,26±0,07	4,32±0,07	2,5±1,0	71,0±5,2	3,4
	4	5,89±0,08	4,91±0,08	7,5±1,0	17,5±5,2	30,0
Контроль (дерново- подзолистая почва СЗЗ)		5,99±0,08	5,01±0,08	12,8±1,0	5,5±1,2	69,9

\* - свежие субстраты, поступившие на полигон для рекультивации.

\*\* - ошибка выборочной средней.

Содержание обменных оснований было высоким, в среднем на 25-20 ммоль-экв/100 г выше, чем в ОСВ, и было практически одинаковым на площадках с разным сроком экспонирования - около 210 ммоль-экв/100 г субстрата. Незначительные колебания величин связаны, несомненно, с исходной неоднородностью разных партий компостов, размещенных на площадках.

Величина гидролитической кислотности компоста из ТКО низкая (около 4 ммоль-экв/100 г), и с течением времени экспонирования практически не менялась. Степень насыщенности грунта основаниями составляла 97-98%.

Таким образом, кислотно-основные параметры компоста из ТКО также являются весьма благоприятными в агрохимическом отношении. Более того,

высокое содержание обменных оснований в компосте из ТКО позволило сделать заключение о том, что применение компоста из ТКО на кислых дерново-подзолистых почвах равноценно известкованию (Витковская, Дричко, 2002; Витковская, 2012).

Кофейный жмых по кислотно-основным параметрам следует оценить как неблагоприятный субстрат для многих растений, за исключением ацидофилов. Он является сильнокислым - рН<sub>сол</sub> для свежего кофейного жмыха и жмыха 1 года экспонирования составляет 4,1 и 4,3 ед. рН соответственно. К концу 4-го года экспонирования кислотность несколько снижается, и величина рН<sub>сол</sub> становится равна 4,9 ед. рН, что дает основание отнести этот грунт к среднекислым. Гидролитическая кислотность очень высокая, и в свежем кофейном жмыхе достигает 85 ммоль-экв/100 г. Со временем гидролитическая кислотность постепенно снижается, и к концу 4-го года экспонирования составляет 17,5 ммоль-экв/100г. Вероятно, это может быть объяснено минерализацией или вымыванием за пределы корнеобитаемого слоя органических соединений, присутствующих в кофейном жмыхе, которые обуславливают его повышенную кислотность в исходном состоянии. Крайне низкое содержание обменных оснований в жмыхе позволяет предположить, что как грунт, почти лишенный кальция и магния, этих важных элементов минерального питания растений, он должен быть весьма неблагоприятен для роста растений и в этом отношении.

Рассмотрим, каково содержание основных питательных элементов в исследуемых органогенных субстратах. Результаты определений приведены в таблице 4.2.

Все субстраты отличаются высоким содержанием органического вещества. В исходном свежем состоянии ОСВ содержит 22% органического углерода (около 44% органического вещества), который за два года экспонирования уменьшается почти в 1,5 раза, до 14,4%.

Следовательно, ОСВ изначально состоит из органического вещества, которое способно активно минерализоваться уже в первые годы.

Таблица 4.2 – Агрехимическая характеристика органогенных субстратов

Субстрат	Год экспонирования	Собщ	Нобщ	С:N	Подвижные формы, мг/кг			
		%			N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
ОСВ	0*	22,10±0,78**	3,05±0,09	7,2	4550±282	16,5±5,1	800±35	693±87
	1	17,01±0,65	1,95±0,07	8,7	2200±220	4625±359	1050±26	773±69
	2	14,40±0,51	1,23±0,04	11,7	850±68	3625±315	850±28	1024±81
Компост из ТКО	0*	26,01±1,01	1,53±0,07	17,0	708±31	1900±149	1150±58	1093±53
	1	26,83±0,83	1,47±0,07	18,2	600±26	2500±132	1250±61	1607±61
	2	23,04±0,79	1,24±0,05	18,6	582±22	2050±135	1075±55	941±55
	3	22,81±0,75	1,42±0,06	16,1	495±29	1850±112	875±49	1101±59
Кофейный жмых	0*	59,85±0,89	1,50±0,06	39,9	345±24	15,5±4,5	37±8	240±19
	1	55,65±0,68	1,53±0,08	36,4	510±25	14,0±5,1	56±7	206±17
	4	34,38±0,59	1,86±0,05	18,5	585±20	17,5±3,2	60±5	720±21
Контроль (дерново-подзолистая почва СЗЗ)		1,98±0,32	0,140±0,25	14,1	41±8	23±3	196±23	180±27

\* - свежие субстраты, поступившие на полигон для рекультивации.

\*\* - ошибка выборочной средней.

Органическое вещество компоста из ТКО является гораздо более устойчивым. Его содержание в исходном субстрате составляет 26%, и за время экспонирования практически не меняется. Некоторые колебания по годам связаны, на наш взгляд, с неоднородностью партий компоста из ТКО, размещенных на опытных площадках.

Кофейный жмых в исходном состоянии характеризуется максимальным содержанием Сорг. – почти 60%. На площадке 4-го года экспонирования содержание Сорг. уменьшилось более чем в 1,7 раз и стало равно 34%.

Общее содержание азота и отношение C:N, определяющее в значительной степени агрономическую ценность почв, грунтов, субстратов и т.д., значительно различаются в зависимости от вида субстрата.

Так, свежий ОСВ характеризуется очень высоким содержанием азота 3,05%, что в принципе характерно для этого вида отходов и связано с наличием в них большого количества органических соединений протеиновой природы.

По мнению большинства исследователей, изучавших агрономическую эффективность ОСВ, их ценность как удобрения определяется в первую очередь именно высоким содержанием азота (Касатиков, 1989; Богатырев, 1999; Канунникова, 2000). Вследствие этого в свежем ОСВ наблюдается очень узкое отношение C:N, равное 7,2, которое практически не наблюдается в гумусовых горизонтах почв нашей зоны. Весьма активная минерализация органического вещества, которая наблюдалась в течение первых двух лет экспонирования, происходила в первую очередь за счет наиболее богатых азотом соединений, вследствие чего убыль азота произошла в большей степени, чем органического углерода (на 60% и 35% соответственно от исходного содержания). Следствием этих процессов является возрастание отношения C:N к концу 2-го года экспонирования по сравнению со свежим субстратом с 7,2 до 11,7, то есть до величины, характерной для гумусовых горизонтов хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв.

Компост из ТКО также характеризовался высоким содержанием  $N_{\text{общ.}}$ , которое колебалось от 1,24 до 1,53%. Достоверных различий по содержанию азота

за три года экспонирования субстрата не наблюдалось, что свидетельствует об относительной устойчивости компоста ТКО к микробному разложению. Отношение C:N колебалось в пределах 16-18, что свидетельствует о сравнительно благоприятном режиме азотного питания для растений.

В отличие от ОСВ и компоста из ТКО, отношение C:N кофейного жмыха, равное 39,9, свидетельствует о низкой питательной ценности данного органогенного субстрата в отношении азота, несмотря на то, что общее содержание N достигает 1,5%. Известно, что при отношении  $C:N > 20$  при минерализации азотсодержащих органических соединений происходит иммобилизация образовавшегося минерального азота в микробных клетках, что приводит к азотному голоданию растений (Кудеяров, 1989; Банкина и др., 2002). К концу четвертого года экспонирования это отношение сужается до 18,5, однако все равно остается на неблагоприятном уровне.

Более детальное изучение содержания подвижных форм азота и их изменения с течением времени позволяет выявить важные аспекты протекания азотного биогеохимического цикла в исследуемых субстратах.

Содержание  $N-NH_4$  характеризует активность протекания процесса аммонификации – основного процесса минерализации азотсодержащих органических соединений, которые составляют в изучаемых органогенных субстратах значительную часть. Известно, что этому процессу подвержены белки и их производные (пептиды и аминокислоты), нуклеиновые кислоты и их производные (пуриновые и пиримидиновые основания, мочевина, мочевая кислота), лигнин и гумусовые кислоты. Процесс аммонификации носит универсальный характер и осуществляется многими микроорганизмами в широком диапазоне условий. Минерализацию азотсодержащих органических соединений могут производить как аэробные, так и анаэробные бактерии, грибы, актиномицеты, то есть это неспецифический процесс, который осуществляет самая многочисленная группа почвенного микробного населения. Очевидно, что деструкция различных азотсодержащих соединений происходит по-разному. Белки животного происхождения минерализуются намного быстрее растительных;



гуминовые вещества отличаются высокой устойчивостью к биоразложению и т.д. Поэтому процессы аммонификации происходят в различных субстратах по-разному в зависимости от их исходного состава.

Следующим этапом превращения азота в почвах является нитрификация – окисление аммония в нитрат. Именно в этой форме азот преимущественно используется большинством высших растений. В этой же форме он подвергается значительным потерям – вымывается и денитрифицируется. Биологическое окисление аммиака до нитритов и нитратов осуществляется главным образом представителями облигатных и факультативных хемолитотрофов *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*, открытых С.Н. Виноградским в конце XIX века, а также некоторых других аммонийоокисляющих бактерий, открытых и исследованных позднее (Watson, 1971; Watson, Mandel, 1971; Watson, Waterbury, 1971). Интенсивность нитрификации часто рассматривают как показатель плодородия почвы, так как нитрифицирующие бактерии очень требовательны к условиям, и для их активного функционирования необходимы: нейтральная реакция среды, аэробные условия и достаточное количество органических азотистых соединений. При этом нитрификаторы могут использовать только тот аммонийный азот, который не успевают потребить разнообразные почвенные организмы в ассимилятивных процессах. Поэтому возможность нитрификации обусловлена, прежде всего, количеством доступного углерода и соотношением C:N в органическом веществе. Избыток углерода (широкое отношение C:N) вызывает преимущественное развитие процессов ассимиляции, когда имеющийся аммиак используется для построения тела различными организмами (Банкина и др., 2002). Любые условия, отклоняющиеся от оптимальных (недостаток кислорода в почвенном воздухе, избыточная влажность, неблагоприятный температурный режим и т.д.) нарушают функционирование нитрифицирующих бактерий, что отражается на содержании нитратов в почве или субстрате. Вследствие того, что установлена тесная корреляционная связь между нитрифицирующей способностью почвы и ее продуктивностью (Минеев, Ремпе, 1990), содержание нитратов является важным диагностическим показателем экологического состояния почв. В отношении

органогенных субстратов – компостов, навоза, осадков сточных вод и т.д. – многочисленными исследованиями установлено, что динамика содержания нитратного азота является одним из показателей процессов трансформации азотсодержащих органических соединений, а интенсивность нитрификации и уровень  $\text{NO}_3$  могут быть использованы как показатели зрелости компоста (Chafetz et al., Витковская, 2005, 2010).

Установлено, что в свежем ОСВ практически весь подвижный азот представлен аммонийными формами. Содержание  $\text{N-NH}_4$  в свежем ОСВ достигало 4550 мг/кг, в то время как содержание  $\text{N-NO}_3$  не превышало 16,5 мг/кг, что в принципе характерно для органогенных субстратов на ранних стадиях их трансформации (Касатиков, 1989; Витковская, 2012). В течение двухлетнего срока экспонирования наблюдалось значительное изменение содержания аммонийного и нитратного азота. В первый год экспонирования содержание аммонийного азота уменьшилось вдвое и стало равно 2200 мг/кг, в то же время содержание нитратов резко увеличилось, достигло величины более 4000 мг/кг и стало преобладающей формой подвижного азота, что несомненно свидетельствует об активной окислительной трансформации аммонийных соединений при минерализации органических соединений ОСВ. В течение второго года экспонирования содержание и аммонийного, и нитратного азота уменьшилось, однако в разной степени:  $\text{N-NH}_4$  более чем в два раза, до 850 мг/кг, а  $\text{N-NO}_3$  менее чем на четверть, до 3600 мг/кг, и его содержание по-прежнему осталось очень высоким и преобладающим среди подвижных форм.

Таким образом, можно утверждать, что в ОСВ, размещенном на опытных площадках при рекультивации полигона, в первые два года экспонирования весьма активно происходят процессы минерализации азотсодержащих органических соединений с образованием значительных количеств аммонийных и особенно нитратных форм азота, значительно превышающих установленные нормативы ПДК и создающих условия, пригодные только для растений, способных выдерживать высокие концентрации легкоусвояемого азота (нитрофилов).

Компост из ТКО в течение периода наблюдений (3 года) характеризовался более постоянными величинами содержания аммонийного и нитратного азота. Содержание  $N-NH_4$  и  $N-NO_3$  в компосте из ТКО на всех опытных площадках было очень высоким. Содержание аммонийного азота постепенно уменьшалось с 710 мг/кг в свежем компосте до 495 мг/кг в компосте 3-го года экспонирования; содержание нитратного азота увеличивалось с 1900 мг/кг в свежем компосте до 2500 мг/кг в компосте 1-го года и снижалось до исходного уровня на 2-й и 3-й год. Преобладание нитратных форм как в свежем компосте, так и при всех изученных сроках экспонирования свидетельствует о высокой зрелости компоста из ТКО, использованного для рекультивации полигона, и об аэробных условиях, способствующих активной окислительной минерализации азотсодержащих органических соединений.

Подвижный азот в кофейном жмыхе представлен в основном аммонийными формами; доля нитратного азота меньше в 30-40 раз. Это свидетельствует о том, что деятельность нитрифицирующих бактерий в этом субстрате в значительной степени подавлена. Это несомненно связано с повышенной кислотностью этого субстрата, при которой автотрофные нитрифицирующие микроорганизмы жить не в состоянии, а превращение аммиака в нитрат возможно только в результате деятельности гетеротрофных бактерий и грибов. Однако, поскольку скорость нитрификации гетеротрофов значительно меньше, чем у автотрофов, содержание нитратного азота в кофейном жмыхе является низким. Кроме того, препятствием для процесса нитрификации является и очень широкое отношение  $C:N$ , равное 60, свойственное кофейному жмыху, которое тормозит образование нитратов и вызывает преимущественное развитие процессов ассимиляции (Банкина, 2002). Таким образом, растения, поселяющиеся на опытных площадках, рекультивированных с использованием этого субстрата, должны испытывать недостаток азота, а удовлетворять свою потребность в этом элементе питания могут только за счет его аммонийных форм.

Рассмотрим, каким было содержание подвижных форм фосфора и калия в исследуемых субстратах (табл.4.2). Содержание фосфора в ОСВ и компосте из ТКО

является высоким (800-1050 мг/кг в ОСВ и 875-1250 в компосте из ТКО) и практически не изменяется за учетный срок (два и три года). Колебания по годам связаны, на наш взгляд, с исходной неоднородностью партий компоста и осадка. Также высоким в этих субстратах является содержание калия, которое составляет 700-1020 в ОСВ и 950-1090 в компосте из ТКО. В отличие от этих субстратов, кофейный жмых содержит значительно меньше фосфора – 30-60 мг/кг, что, с учетом объемной массы этого субстрата ( $0,3 \text{ г/см}^3$ ), явно недостаточно для удовлетворения потребностей растений в этом важнейшем элементе корневого питания. Содержание калия существенно выше и колеблется от 240 до 720 мг/кг. Судя по полученным результатам, растения на кофейном жмыхе не должны испытывать калийного голодания.

#### Выводы:

Таким образом, с позиций агрохимии исследуемые органогенные субстраты по кислотно-основным параметрам и обеспеченности основными элементами питания могут быть оценены следующим образом.

1. ОСВ - нейтральный, с высоким содержанием обменных оснований, повышенным содержанием фосфора и калия и очень высоким содержанием азота. В свежем ОСВ абсолютно преобладают аммонийные формы азота, а в субстрате 1 и 2 года экспонирования – нитратные формы. Высокое содержание азота и, прежде всего, его подвижных форм, делают ОСВ пригодным только для роста растений-нитрофилов, способных выдержать эти концентрации азота в субстрате. В течение изученных первых двух лет экспонирования происходит активная минерализация органического вещества ОСВ, сопровождающаяся уменьшением содержания углерода и особенно азота.

2. Компост из ТКО – нейтральный, с высоким содержанием обменных оснований, азота, фосфора и калия. Среди подвижных форм азота преобладают нитратные формы, что говорит о высокой степени зрелости компоста. Сравнительно устойчив; в течение трех лет экспонирования не выявлено достоверного уменьшения содержания органического вещества и подвижных форм питательных элементов.

3. Кофейный жмых – очень кислый, обеднен фосфором. Чрезвычайно широкое отношение C:N, равное 39,9, подавляет процессы нитрификации, вследствие чего растения на кофейном жмыхе должны испытывать недостаток азота, а удовлетворять свою потребность в этом элементе питания могут только за счет его аммонийных форм. К концу четвертого года экспонирования отмечается уменьшение содержания органического вещества, увеличение зольности и постепенный рост содержания подвижных питательных элементов.

#### **4.2. Санитарно-химическая характеристика органогенных субстратов**

Известно, что основным неблагоприятным фактором, препятствующим широкому применению осадков сточных вод и компостов из ТКО в качестве удобрений или плодородного грунта при озеленении, является повышенное содержание тяжелых металлов (Грибанова, Зрянин, 1997; Schulz, Romheld, 1997; Амосов и др., 2000; Витковская, 2012). Поэтому при использовании этих органогенных отходов в качестве удобрений, плодородных грунтов при рекультивации или в озеленении, санитарно-химические исследования являются обязательными. При использовании ОСВ или компостов из ТКО при рекультивации полигонов ТКО санитарные требования, разумеется, менее строгие, чем при применении их на сельскохозяйственных полях или объектах городского озеленения, однако, поскольку эти грунты размещаются непосредственно на дневной поверхности, контактируют с представителями биоты и являются основой формирующихся на полигонах биоценозов, определенный уровень экологической безопасности должен быть обеспечен и в этих случаях. Поэтому были проведены аналитические исследования содержания основных нормируемых санитарными нормами и правилами тяжелых металлов (свинца, ртути, кадмия, никеля, хрома, марганца, цинка и меди), мышьяка, а также некоторых других загрязняющих веществ - в субстратах, использованных для рекультивации полигона ТКО. Для сравнения были проанализированы еще два образца ОСВ, отобранных на площадках длительного хранения Гатчинского «Водоканала» - 7 лет и 20 лет.

Санитарно-химическая характеристика ОСВ приведена в таблице 4.3. Показатели, превышающие ПДК (ОДК) для почв, выделены синим цветом, а превышающие нормативные требования для ОСВ – красным. Как видно из приведенных данных, исследуемые ОСВ характеризуются весьма «благополучными» санитарно-химическими параметрами. Во всех образцах, отобранных на рекультивируемом полигоне и на площадке 7-летнего хранения содержание тяжелых металлов и мышьяка не превышало установленных нормативов для ОСВ. Более того – в большинстве случаев все осадки не превышали нормативы (ПДК или ОДК), разработанные для почв. Только в одной пробе ОСВ, отобранной на площадке 20-летнего хранения, было зафиксировано высокое содержание кадмия, превышающее установленные нормативы для осадков почти в 2 раза, а для почв в 27 раз. По всем остальным загрязняющим веществам (полихлорированным бифенилам, поверхностно-активным веществам, изомерам гексахлорциклогексана, бенз(а)пирену) также не выявлено повышенных или опасных концентраций, ДДТ и его метаболиты, ГХЦГ  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ -изомеры – не обнаружены.

Низкое содержание поллютантов в ОСВ связано, несомненно, с отсутствием вредных производств в г. Гатчина, что обеспечивает экологическую безопасность исследуемых осадков по этим показателям и их пригодность не только для рекультивации полигонов ТКО, но и даже использование в качестве органических удобрений в агроценозах.

Содержание важнейших контролируемых санитарными нормативами тяжелых металлов в компосте из ТКО приведено в таблице 4.4. Установлено, что исследуемый компост в большей степени загрязнен тяжелыми металлами, чем ОСВ. Все изученные пробы компоста превышали ОДК для почв по содержанию кадмия (в 1,2-1,6 раз) и ртути (в 1,8-3,7 раз), однако соответствовали нормативам для компостов из ТКО. По двум элементам – свинцу (три пробы) и меди (одна проба) отмечено незначительное превышение нормативов для компостов ТКО – в 1,1-1,3 раза. Следовательно, в целом компосты из ТКО незначительно загрязнены тяжелыми металлами, в первую очередь свинцом и медью.

Таблица 4.3 – Санитарно-химическая характеристика ОСВ

Элемент или вещество, мг/кг	ПДК (ОДК) для почв	Нормативные требования к ОСВ*	Срок экспонирования				
			0**	1 год	2 года	7 лет***	20 лет***
Медь	132	1500	196±32**	153±38	341±54	168,1	358,8
Цинк	220	4000	205±25	197±41	363±57	196,9	197,6
Свинец	130	1000	21±5	18±12	64±27	30,7	48,4
Кадмий	2,0	30	4±2	3,5±2	5±3	7,0	54,8
Никель	80	400	65±12	59,4±23	122±44	68,4	218,8
Кобальт	400	-	7±4	8,1±38	6±4	5,6	3,7
Марганец	1500	2000	210±45	173±27	206±36	179,2	289,1
Железо	500	-	3890±300	3635±320	3820±350	3269,2	3300,1
Мышьяк	10,0	20	0,97±0,05	1,07±0,05	1,29±0,05	0,99	1,02
Ртуть	2,1	15	0,94±0,05	0,87±0,05	1,18±0,07	0,84	1,67
Бенз(а)пирен	0,02	-	0,095	0,090	0,107	0,057	0,097
ПХБ	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Нефтепродукты	-	-	<20	<20	<20	<20	<20
АПАВ	-	-	0,34	0,31	0,34	0,29	0,37

\* - нормативные требования к ОСВ – СанПиН 2.1.7.573-96

\*\* - свежие субстраты, поступившие на полигон для рекультивации, \*\* - ошибка выборочной средней

\*\*\* - отобраны для сравнения с полей аэрации «Водоканал» г.Гатчины

Таблица 4.4 – Санитарно-химическая характеристика компоста из ТКО

Элемент, мг/кг	ПДК (ОДК) для почв	ТУ* на компост из ТКО, 1996 г.	ТУ** на компост ТКО, 2003 г.	Срок экспонирования			
				0***	1 год	2 года	3 года
Медь	132	300	300	112±33	430±121	82±23	80±22
Цинк	220	500	1500	235±67	200±55	197±55	190±51
Свинец	130	200	1900	210±61	275±77	68±19	70±20
Кадмий	2,0	5	5	3,5±0,95	2,6±0,9	3,0±1	3,0±0,7
Никель	80	100	100	37±11	33±9	22±6	20±6
Марганец	1500	-	-	4,5±0,7	6,5±2	4,0±1,1	3,5±1
Ртуть	2,1	10	5	5,0±0,5	3,0±0,7	3,5±1	3,5±0,9
Мышьяк	10,0	10	5	112±33	430±121	82±23	80±22

\* ТУ на компост. Разработан Академией коммунального хозяйства им. Н.Д.Памфилова. Утв. ГУ Минсельхозпрода РФ 07.1996 г.

\*\*ТУ на компост. Разработан Агрофизическим ин-том Россельхозакадемии. Утв. 2003 г.

\*\*\* - свежие субстраты, поступившие на полигон для рекультивации



Санитарно-химическая характеристика кофейного жмыха представлена в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Санитарно-химическая характеристика кофейного жмыха  
n=4, P=0,095

Элемент, мг/кг	ПДК (ОДК) для почв	Срок экспонирования		
		0*	1 год	4 года
Медь	132	37±11**	65±18	110±30
Цинк	220	15±5	21±6	175±49
Свинец	130	0,10±0,025	2,70±0,8	26±7,5
Кадмий	2,0	<0,01	<0,01	<0,01
Никель	80	5,0±1,3	2,5±1,1	10,5±3,1
Марганец	1500	19,7±5	14,3±3,5	71,9±19
Мышьяк	10,0	0,02±0,01	0,02±0,01	0,02±0,01
Ртуть	2,1	<0,01	<0,01	<0,01

\* - свежие субстраты, поступившие на полигон для рекультивации

\*\* - ошибка выборочной средней.

#### **4.3. Изменение токсикологических характеристик органогенных субстратов при самозаращении рекультивированного полигона ТКО**

Биотестирование, которое в настоящее время очень широко используется при токсикологических исследованиях, рассматривается как метод интегральной оценки состояния среды. Очевидно, что с помощью живых тест-организмов можно учесть токсическое воздействие не только всех поступивших в природные среды загрязняющих веществ, но и образовавшихся метаболитов. О том, насколько широко используется биотестирование в оценке качества природной среды, убедительно свидетельствует тот факт, что в нашей стране и за рубежом разработано более 50 стандартов на различные методы биотестирования.

Методы биотестирования обычно достаточно простые и обеспечивают получение достоверного отклика на токсическое воздействие за сравнительно короткий интервал времени (несколько дней). Выбор тест-объекта обычно основывается на том, что тест-объект должен быть, прежде всего, весьма

чувствителен к действию загрязняющих веществ, отличаться достаточно широкой распространенностью и обладать возможностью культивирования в лабораторных условиях в любое время года. Показателем токсичности почвы или воды является степень изменения выбранной тест-функции биоиндикаторного организма при его взаимодействии с исследуемой природной средой.

Очевидно, что при оценке токсичности органогенных субстратов, используемых при рекультивации полигона, необходимо оценить как токсичность самого субстрата, так и токсичность водных вытяжек из него для оценки риска загрязнения сопредельных сред.

#### **4.3.1. Оценка фитотоксичности органогенных субстратов**

Фитотестирование (оценка токсичности субстратов для семян высших растений) проводили по методике М-П-2006 (ФР.1.39.2006.02264), допущенной для целей государственного экологического контроля (2009). Семена проращивали непосредственно в субстрате, в чашках Петри, при оптимальном режиме температуры и влажности, в течение 4 дней. Тест-культура - овес.

Рассмотрим, каким образом происходило изменение экотоксичности субстратов, использованных при рекультивации полигона ТКО, при их самозаращении после нанесения на поверхность отвалов. Полученные результаты приведены в таблице 4.6 и на рисунке 4.1.

Наиболее важным показателем при определении фитотоксичности является всхожесть семян. Как видно из приведенных результатов, все исследуемые субстраты не влияли на всхожесть семян, за исключением свежего ОСВ, который угнетал всхожесть на 32,0% по сравнению с контролем.

Корни проростков, как известно, являются наиболее чутким показателем, реагирующим на присутствие в субстрате (грунте, почве) каких-либо загрязняющих веществ. При проращивании семян в исследуемых субстратах установлено, что в зависимости от вида субстрата и срока его экспонирования влияние на длину корней проростков могло быть как положительным (стимуляция), так и отрицательным (угнетение).

Таблица 4.6. Изменение фитотоксичности исследуемых субстратов за время самозаращения

n=4, P=0,095

Субстрат	Год экспонирования	Всхожесть, %	Корни, мм	Колеоптиль, мм
Контроль		98,3±2,5	50,3±0,9**	17,1±1,6
ОСВ	0*	66,8±2,0	17,1±3,8	28,0±2,5
	1	98,3±3,0	49,7±0,9	29,9±0,7
	2	97,5±3,0	51,2±0,9	27,1±1,4
Компост МПБО	0*	90,0±3,0	57,3±0,8	20,7±0,3
	1	96,8±3,0	67,3±2,7	29,7±1,1
	2	95,0±2,5	66,1±0,6	28,1±1,1
	3	98,0±2,8	51,4±4,4	24,6±2,8
Кофейный жмых	0*	93,3±2,1	11,0±0,8	15,6±1,2
	1	94,0±2,3	14,8±0,9	16,9±0,9
	4	96,8±2,5	30,4±3,9	27,3±0,3

\* - свежие субстраты, поступившие на полигон для рекультивации

\*\* - ошибка выборочной средней.

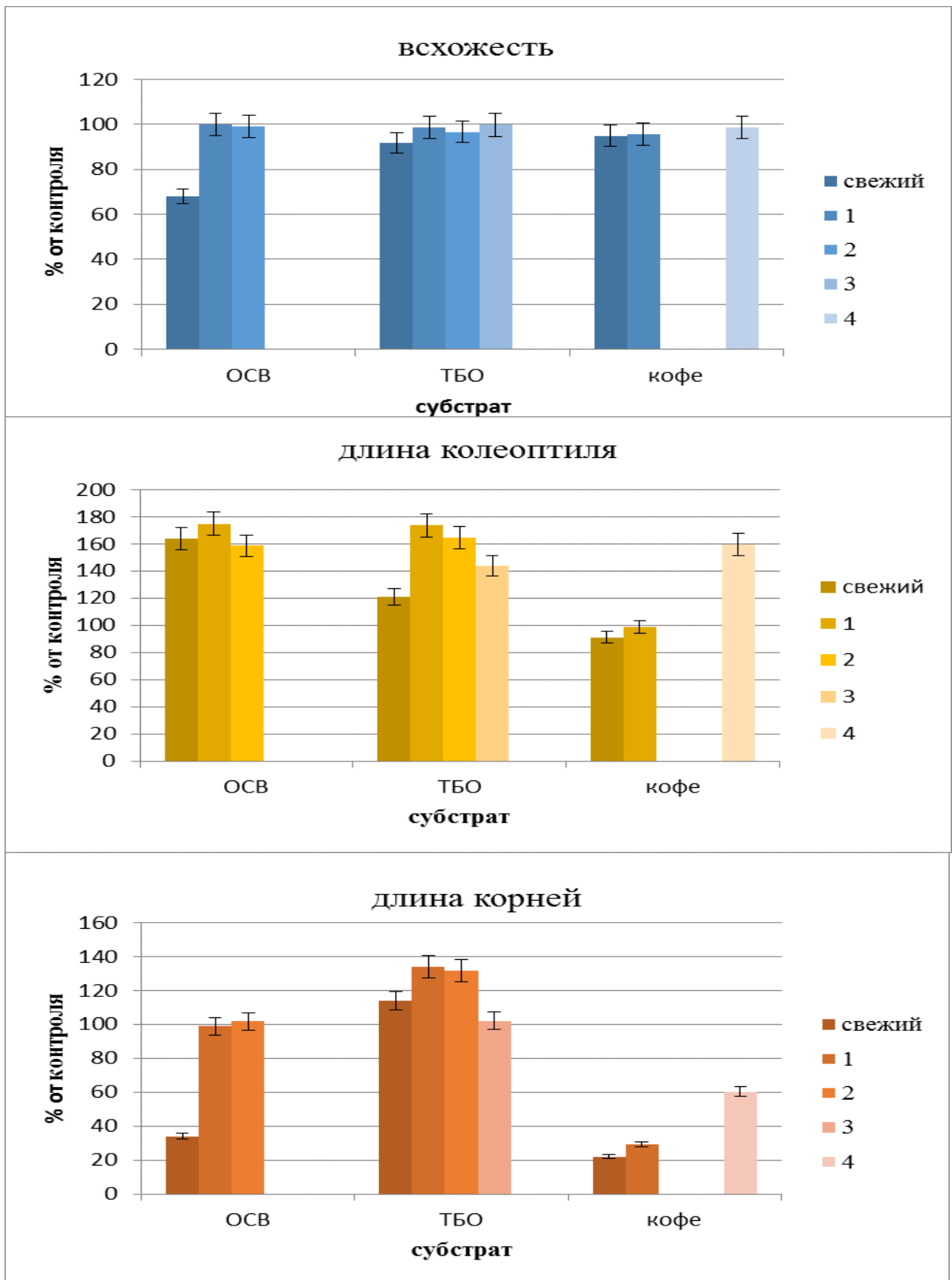


Рисунок 4.1 – Изменение фитотоксичности субстратов за время наблюдений

Свежий ОСВ оказывал достоверное угнетающее действие на длину корней, уменьшая их по сравнению с контролем на 66%, однако уже на следующий год это токсическое воздействие полностью исчезало. Компост из ТКО свежий и 1 и 2 года экспонирования оказывал статистически достоверное стимулирующее воздействие на длину корней, увеличивая их на 14, 34 и 31% от контроля соответственно. На 3-й год стимулирующее действие компоста не наблюдалось, и длина корней не отличалась от контроля. Наиболее токсичным для корней оказался кофейный жмых: в свежем состоянии и через 1 год экспонирования он оказывал сильное угнетающее действие на корни, снижая их длину на 78 и 71% от контроля. Даже к концу 4 года это токсическое действие было статистически достоверным и составляло -40% от контроля.

Изучение влияния субстратов на длину coleoptily выявило, что практически все органогенные субстраты, используемые при рекультивации полигона ТКО, достоверно стимулируют, увеличивают длину coleoptily проростков, за исключением свежего кофейного жмыха, который не оказывает влияния на длину coleoptily.

Оценка степени токсичности исследуемых для высших растений была проведена в соответствии со шкалой, разработанной сотрудниками НИЦЭБ РАН для техногенно загрязненных почв (табл.4.7).

Таблица 4.7 – Критерии степени токсичности техногенно-загрязненных почв (по: МВИ М-П-2006, 2009, с.19).

Степень токсичности почвы	Снижение всхожести семян по сравнению с контрольной пробой, $N_1$ , %	Снижение длины корней проростков по сравнению с контрольной пробой, $N_2$ , %
II	$70 < N_1 < 100$	$70 < N_2 < 100$
III	$20 < N_1 \leq 70$	$50 < N_2 \leq 70$
IV	$0 < N_1 \leq 20$	$20 < N_2 \leq 50$
V	$0 < N_1 \leq 20$	$0 < N_2 \leq 20$

Таким образом, по результатам фитотестирования можно сделать вывод о том, что в свежем состоянии два исследуемых субстрата из трех – ОСВ и кофейный жмых – обладают умеренной степенью токсичности, а компост из ТКО не только не обладает фитотоксичностью, но и оказывает стимулирующее действие на проростки. В результате процессов детоксикации и самозарастания, которые происходят после нанесения органометных субстратов на поверхность отвалов, наблюдается быстрое устранение токсичности ОСВ (ОСВ 1-го года полностью нетоксичен для семян высших растений) и постепенное уменьшение токсичности кофейного жмыха, который сохраняет слабую токсичность и в образцах 4-го года экспонирования. Кроме того, к концу 3 года снижается до уровня контроля стимулирующее действие компоста из ТКО на корни проростков.

#### **4.3.2. Изучение токсичности водных вытяжек из субстратов для гидробионтов**

Изучение токсичности водных вытяжек из субстратов проводили для двух тест-объектов – дафний *Daphnia magna Straus* и инфузорий *Tetrachimena pyriformis*. Токсичность вытяжек для дафний определяли по их смертности ФР.1.39.2007.03222. Исследования токсичности водных вытяжек с использованием в качестве тест-организма инфузорий проводили на приборе «Биотестер-2» (ФР.1.31.2005.01883).

Согласно «Критериям отнесения...» (2001), класс опасности отхода устанавливается по кратности разведения водной вытяжки, при которой нет отрицательного воздействия на тест-организмы. Таким образом, кратность разведения водных вытяжек является решающим фактором при определении класса опасности отхода. В V класс (практически неопасные) попадают те отходы, водная вытяжка из которых нетоксична для тест-организмов без разведения. Отходы, водные вытяжки из которых для снятия токсичности требуют разведения в 2-100 раз, относятся к IV классу опасности (малоопасные). При разбавлении в 101-1000 раз отходы относятся к III классу опасности (умеренно опасные).

По мнению большинства исследователей, (Флёров, 1983; Стом и др., 1993; Фомченков и др., 1996; Жмур, 1997; Брагинский, Линник, 2003; Локтионова и др., 2009, Каниськин, 2010), наиболее универсальным по чувствительности и адекватности реагирования на различные токсиканты являются дафнии (*Daphnia magna Straus*). Эти ветвистоусые рачки являются представителями зоопланктона и широко распространены в природных водоемах. Рассмотрим, какова была токсичность водных вытяжек из исследуемых субстратов для дафний и как она изменялась с течением времени. Полученные результаты представлены в таблице 4.8.

Установлено, что вытяжка из свежего ОСВ была токсичной и вызывала 100% гибель дафний. Токсичность вытяжки полностью устранялась при 100-кратном разбавлении. Вытяжки из ОСВ 1 и 2 года экспонирования также были токсичны для дафний и вызывали их гибель на 74 и 50% от контроля соответственно. Токсичность этих вытяжек полностью устранялась уже при 10-кратном разбавлении.

Водная вытяжка компоста из ТКО в свежем состоянии и после 1 года экспонирования была умеренно токсична для дафний, гибель которых без разбавления наблюдалась в количестве 74 и 60% от контроля. Вытяжки становились нетоксичными при 10-кратном разбавлении. Вытяжки из компостов 2 и 3 года были нетоксичны без разбавления.

Вытяжка из свежего кофейного жмыха обладала острой токсичностью для дафний и вызывала их 100% гибель. Жмых 1 года был умеренно токсичен: в вытяжке без разбавления наблюдалась гибель 54% дафний. И в том, и в другом случае токсичность полностью устранялась уже при 10-кратном разбавлении вытяжек. Вытяжка из кофейного жмыха после 4 лет экспонирования была нетоксична без разбавления.

Таким образом, по результатам биотестирования водных вытяжек из исследуемых субстратов можно сделать вывод, что в свежем состоянии все они относятся к IV классу опасности отходов (малоопасные). Со временем их токсичность постепенно уменьшается, и компосты из ТКО 2 и 3 года, а также

кофейный жмых 4 года экспонирования уже относится к V классу опасности (практически неопасные).

Таблица 4.8 – Биотестирование органогенных субстратов на дафниях\*

n=4, P=95%

Субстрат	Срок	Разбавление	Хср.,** шт.	N**, %	Класс опасности
Контроль (аквариумная вода)	-	-	5,0	-	-
ОСВ	0*	б/р	0	100,0	IV
		1:10	2,0	60,0	
		1:100	4,8	4,0	
	1 год	б/р	1,3	74,0	IV
		1:10	4,5	10,0	
	2 года	б/р	2,5	50,0	IV
1:10		5,0	0		
Компост из ТКО	0*	б/р	1,3	74,0	IV
		1:10	4,8	4,0	
	1 год	б/р	2,0	60,0	IV
		1:10	5,0	0	
	2 года	б/р	4,8	4,0	V
	3 года	б/р	5,0	0	V
Кофейный жмых	0*	б/р	0	100,0	IV
		1:10	4,5	10,0	
	1 год	б/р	2,3	54,0	IV
		1/10	4,8	4,0	
	4 года	б/р	4,5	10,0	V

\* - свежие субстраты, поступившие на полигон для рекультивации.

\*\* - Хср. – среднее число выживших дафний, шт.; N – доля погибших, % от контроля.  
Допустимая степень токсичности - при N<50%.



Срок экспонирования ОСВ (2 года) был недостаточен для того, чтобы полностью устранилась его токсичность для таких чувствительных тест-организмов, как дафнии, и к концу 2 года он по-прежнему является субстратом IV класса опасности (малоопасный). Результаты биотестирования на инфузориях представлены в таблице 4.9.

Установлено, что только один образец – свежий ОСВ – был токсичен для инфузорий, и для устранения токсичности потребовалось 10-кратное разбавление вытяжек. На основании этого этот субстрат может быть отнесен к IV классу опасности. Все остальные образцы (ОСВ 1-го и 2-го годов, компосты из ТКО и кофейный жмых) характеризовались допустимой или умеренной степенью токсичности водных вытяжек без разбавления, и таким образом могут быть отнесены к V классу опасности.

Биотестирование водных вытяжек на гидробионтах – дафниях и инфузориях – выявило, что для изученных субстратов дафнии являются более чувствительным тест-организмом, чем инфузории, поскольку по ним получается более строгий класс опасности. Руководствуясь принципом соблюдения максимальной экологической безопасности, именно этот тест-организм и следует считать решающим при окончательном установлении класса опасности. Поэтому в свежем состоянии все исследуемые органогенные субстраты относятся к IV классу опасности отходов (малоопасные). Со временем их токсичность постепенно уменьшается, и компосты ТКО 2 и 3 года, а также кофейный жмых 4 года экспонирования относятся к V классу опасности (практически неопасные). ОСВ в течение двухлетнего периода экспонирования сохранял умеренную токсичность, и к концу 2 относился к IV классу опасности (малоопасный).

Таблица 4.9 – Биотестирование органогенных субстратов на инфузориях

Субстрат	Год экспонирования	Разбавление	Показания прибора	Индекс токсичности Т	Класс опасности
Контроль	-	-	55,7±0,6**	-	-
ОСВ	0*	б/р	12,7±0,5	0,77	IV
		1:10	32,6±0,8	0,42	
		1:100	41,2±0,7	0,26	
	1	б/р	39,9±0,5	0,28	V
	2	б/р	33,7±0,5	0,39	V
Компост из ТКО	0*	б/р	38,7±1,7	0,44	IV
		1:10	42,1±0,5	0,24	
	1	б/р	30,9±0,3	0,39	V
	2	б/р	34,1±0,4	0,39	V
	3	б/р	34,0±1,1	0,31	V
Кофейный жмых	0*	б/р	34,8±0,4	0,38	V
	1	б/р	34,0±1,1	0,31	V
	4	б/р	34,4±0,1	0,38	V

\* - свежие субстраты, поступившие на полигон для рекультивации.

\*\* - ошибка выборочной средней.

**Выводы:**

1. Все органогенные субстраты, используемые при рекультивации полигона ТКО, по результатам определения токсичности методами биотестирования относятся к IV-V классам опасности, что соответствует нормативным документами и проекту рекультивации полигона.

2. ОСВ в свежем состоянии является умеренно токсичным для высших растений и гидробионтов (инфузорий и дафний) и по результатам биотестирования может быть отнесен к IV классу опасности отходов. При использовании ОСВ в качестве плодородного грунта при рекультивации полигона ТКО и его самозаращении происходит быстрая детоксикация субстрата, и уже через год ОСВ является нетоксичным для высших растений и инфузорий. Умеренная токсичность для дафний сохраняется до конца 2 года экспонирования.

3. Свежий компост из ТКО и компост 1 года является слаботоксичным для гидробионтов. Начиная со 2 года экспонирования, компост нетоксичен для гидробионтов. Компост как свежий, так и 1 и 2 года экспонирования оказывает стимулирующее действие на длину корней и coleoptilia проростков овса. Стимулирующее действие компоста на длину корней проростков снижается к концу 3 года до уровня контроля.

4. Свежий кофейный жмых оказывает острое токсическое действие на гидробионты (дафнии), которое устраняется при 10-кратном разбавлении, и умеренно фитотоксичен. К концу 4 года экспонирования фитотоксическое действие может быть оценено как слабое; токсичности водных вытяжек для дафний не наблюдается.

5. Экотоксикологические характеристики должны влиять на активность процессов самозаращения площадок, рекультивированных с использованием исследованных субстратов.

#### **4.4. Особенности температурного режима корнеобитаемого слоя исследуемых субстратов в течение вегетационного периода**

Известно, что органогенные субстраты (органические удобрения - навоз крупного рогатого скота, помет и т.д. – бытовые и пищевые отходы, торфокомпосты) при компостировании могут значительно нагреваться вследствие экзотермических реакций. Так, навоз при компостировании в буртах может разогреваться до температуры 60-70°C, на чем основано его обеззараживание от семян сорной растительности и гельминтов (Бобович, Девяткин, 2000). Для полигонов ТКО значительное разогревание масс внутри массива отходов и образование биогазов – одна из серьезных экологических проблем (Грибанова, Зрянин, 1997; Гринин, Новиков, 2002; Максимова, Глушанкова, 2003). Однако, с другой стороны, в практике овощеводства широко распространены методы выращивания таких культур, как тыквы и кабачки, на компостных «подушках», что обеспечивает для этих теплолюбивых растений оптимальный температурный режим. В этой связи представляется необходимым изучение температурного режима исследуемых субстратов, поскольку он является одним из важнейших экологических факторов при зарастании нарушенных земель.

Температуру субстратов измеряли в течение вегетационного сезона с апреля по октябрь почвенным термометром на глубине корнеобитаемого слоя (20 см) в пределах каждой опытной площадки в 6-8 точках в дневное время (с 12 до 15 час). Измерения проводили один раз в месяц. Сравнения проводили с температурой фоновой почвы, расположенной в непосредственной близости от полигона. Полученные результаты обобщены на рисунке 4.2 и в таблицах 4.9 - 4.11.

Установлено, что исследуемые субстраты характеризуются разным температурным режимом корнеобитаемого слоя.

Осадки сточных вод 1 и 2 года экспонирования прогреваются примерно одинаково до середины лета (июль), достигая в этот месяце максимальных значений температуры 30-32 °C. С этого же времени температура корнеобитаемого

слоя ОСВ становится выше температуры воздуха, и превышает ее до конца вегетационного сезона (октябрь). Однако со второй половины лета наблюдаются различия: ОСВ 1 года «остывает» очень медленно, в августе и сентябре на 1,5 градуса, а в октябре на 7 °С, так что к середине октября температура его корнеобитаемого слоя составляет 22 °С, что на 17 °С превышает температуру фоновой почвы. Это, несомненно, связано с экзотермическими процессами разложения органического вещества в массе осадка. В ОСВ 2 года эти процессы, очевидно, идут уже менее активно, и поэтому корнеобитаемый слой остывает более активно, снижаясь к середине октября до 10,6 °С, что всего на 5,5 °С превышает температуру фоновой почвы.

Компосты из ТКО, аналогично ОСВ, в первой половине лета превышают температуру фоновой почвы на 4-6 градусов, оставаясь при этом «холоднее» дневной температуры воздуха на 0,4-2,1 °С.

Однако с середины июля экзотермические процессы в компостах начинают происходить очень активно, и с этого времени (для компоста 1 года чуть позднее, с августа) температура корнеобитаемого слоя в них превышает дневную температуру воздуха – сначала на 1-2 градуса, а затем, несмотря на снижение температуры воздуха и фоновой почвы, остается на уровне 27-33 °С вплоть до октября.

Очевидно, в это время активность биохимических процессов разложения достигает своего наиболее активного протекания, следствием чего и является такая высокая температура компостов. Интересно отметить, что максимальный «разогрев» наблюдается в компосте 2 года экспонирования, однако и на площадке 3 года также сохранялась такая высокая температура. К сожалению, по определенным причинам исследование температурного режима в субстратах далее (в ноябре, декабре) не было продолжено, и поэтому не удалось выявить, до какого времени сохраняется эта повышенная температура, в какое время температура компоста становится равна температуре фоновой почвы и до какого срока экспонирования сохранится

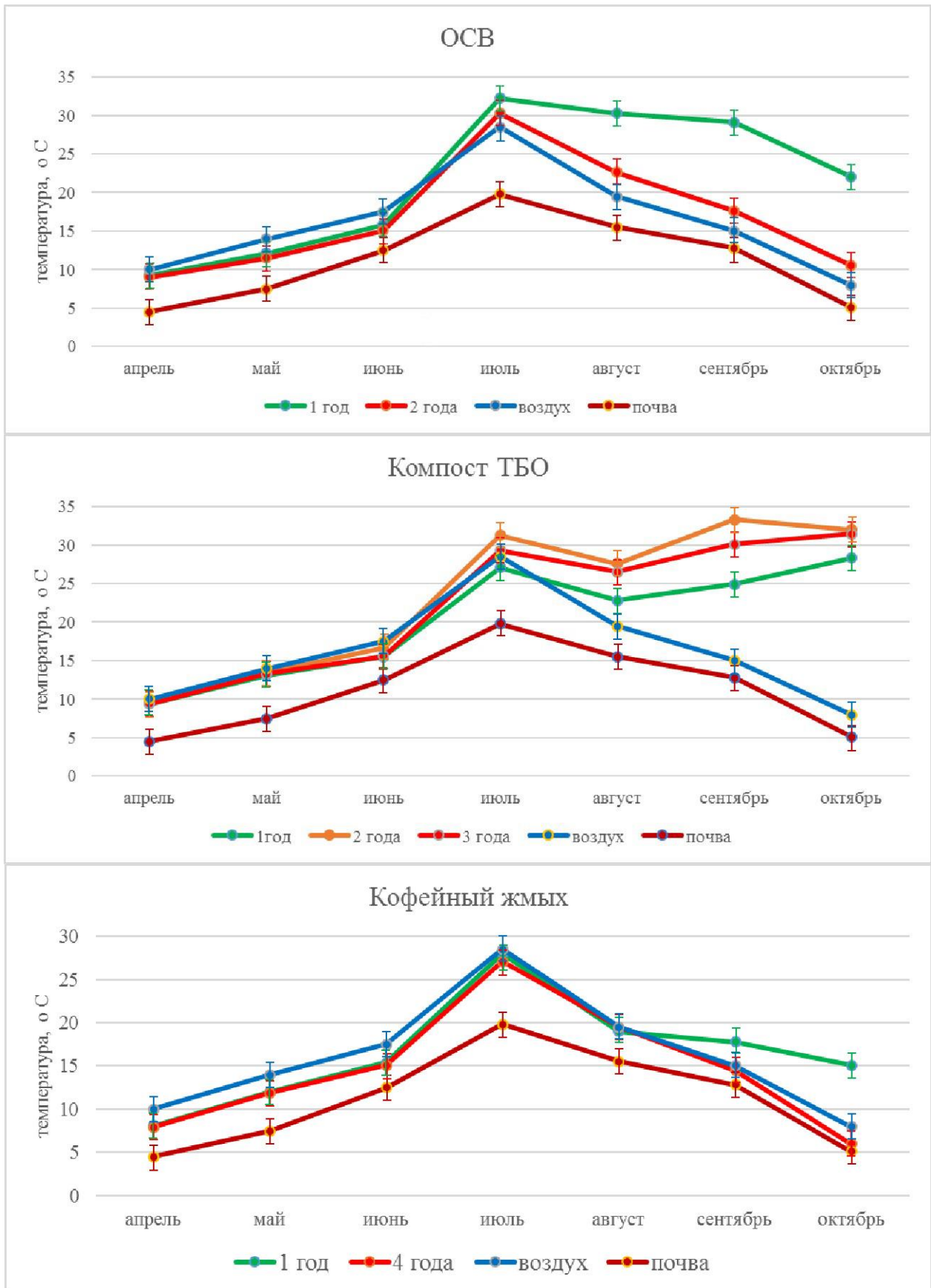


Рисунок 4.2 – Изменение температуры корнеобитаемого слоя субстратов, воздуха и фоновой почвы в течение вегетационного сезона 2014 г. ( $P = 0,095$ )

Таблица 4.9 – Изменение температуры корнеобитаемого слоя исследуемых субстратов в течение вегетационного сезона, 2014 г., °С

n=4, P=95%

Субстрат	Срок экспонирования	Дата измерения						
		18.04	12.05	03.06	16.07	22.08	14.09	10.10
ОСВ	1	9,3±0,4*	12,1±0,4	15,8±0,1	32,3±0,6	30,6±2,9	29,1±2,6	22,1±2,6
	2	9,0±0,5	11,5±0,6	15,1±0,4	30,3±0,8	22,6±0,7	17,6±0,2	10,6±0,2
Компост из ТКО	1	9,4±0,7	13,1±0,2	15,5±0,2	27,1±0,6	22,8±0,5	24,9±1,4	28,3±0,9
	2	9,6±0,5	13,5±0,4	16,6±0,7	31,3±1,3	27,6±1,0	33,3±1,9	32,0±1,2
	3	9,4±0,4	13,3±0,4	15,6±0,4	29,3±1,2	26,5±0,5	30,1±1,4	31,5±1,4
Кофейный жмых	1	8,1±0,6	12,0±0,4	15,4±0,3	28,0±0,8	19,0±0,4	17,8±0,5	15,1±0,8
	2	7,9±0,2	11,9±0,1	15,1±0,2	27,1±0,8	19,5±0,2	14,5±0,5	6,0±0,2
t воздуха		10,0±0,5	14,0±0,4	17,5±0,4	28,5±0,8	19,5±0,3	15,0±0,4	8,0±0,2
t почвы		4,5±0,2	7,2±0,4	12,5±0,2	19,8±0,4	15,5±0,3	12,8±0,6	5,1±0,2

\* - ошибка выборочной средней.

Таблица 4.10 – Превышение температуры корнеобитаемого слоя исследуемых субстратов над температурой фоновой почвы в течение вегетационного сезона, °С

n=4, P=95%

Субстрат	Срок экспонирования	Дата измерения						
		18.04	12.05	03.06	16.07	22.08	14.09	10.10
ОСВ	1	4,8±0,3*	4,9±0,2	4,3±0,3	12,5±0,8	15,1±0,9	16,3±0,9	17,0±0,8
	2	4,5±0,2	4,3±0,2	3,6±0,2	10,5±0,8	7,5±0,5	4,8±0,5	5,5±0,3
Компост из ТКО	1	4,9±0,3	5,9±0,4	4,0±0,2	7,3±0,5	7,3±0,3	12,1±0,6	23,2±0,8
	2	5,1±0,3	6,3±0,7	5,1±0,5	11,5±0,6	12,1±0,4	20,5±0,8	26,9±0,9
	3	4,9±0,3	6,1±0,5	5,1±0,5	9,5±0,4	11,0±0,4	17,3±0,6	26,4±0,9
Кофейный жмых	1	3,6±0,2	4,8±0,4	3,9±0,2	8,2±0,4	3,5±0,3	5,0±0,2	10,0±0,4
	2	3,4±0,2	4,7±0,3	3,6±0,3	7,3±0,5	4,0±0,3	1,7±0,1	0,9±0,2
t воздуха		10,0±0,5	14,0±0,4	17,5±0,4	28,5±0,8	19,5±0,3	15,0±0,4	8,0±0,2
t почвы		4,5±0,2	7,2±0,4	12,5±0,2	19,8±0,4	15,5±0,3	12,8±0,6	5,1±0,2

\* - ошибка выборочной средней.



Таблица 4.11 – Разница между температурой корнеобитаемого слоя исследуемых субстратов и фоновой почвы и температурой воздуха в течение вегетационного сезона, °С

Субстрат	Срок экспонирования	Дата измерения						
		18.04	12.05	03.06	16.07	22.08	14.09	10.10
ОСВ	1	-0,7	-1,9	-1,7	+3,8	+11,1	+14,1	+14,1
	2	-1,0	-2,5	-2,4	+1,8	+3,1	+2,6	+2,6
Компост из ТКО	1	-0,6	-0,9	-2,0	-1,4	+3,3	+9,9	+20,3
	2	-0,4	-0,5	-0,9	+2,8	+7,1	+18,3	+24,0
	3	-0,6	-0,7	-1,9	+0,8	+7,0	+15,1	+23,5
Кофейный жмых	1	-1,9	-2,0	-2,1	-0,5	-0,5	+2,8	+7,1
	4	-2,1	-3,1	-2,4	-1,4	0	-0,5	-2,0
Почва		-5,5	-6,8	-5,0	-8,7	-4,0	-2,2	-2,9
t воздуха		10,0	14,0	17,5	28,5	19,5	15,0	8,0

подобная активность экзогенных биохимических процессов. Несомненно, эти исследования должны быть продолжены.

Кофейный жмых оказался наименее активным «производителем тепла» среди исследуемых субстратов. На площадке 1 года было зафиксировано увеличение температуры в начале осени (сентябрь-октябрь) на 8-10 °С выше, чем в фоновой почве и на 6-7 °С дневной температуры воздуха, причиной чего являются процессы разложения органического вещества в субстрате. Однако на площадке 4 года температура корнеобитаемого слоя в субстрате уже почти не отличалась от фоновой почвы. Некоторое превышение температуры на опытных площадках по сравнению с фоновой почвой в течение лета (особенно в июле) связано, на наш взгляд, с гораздо лучшей прогреваемостью лишенного растительности, темного кофейного жмыха по сравнению с почвой, плотно заросшей травянистой растительностью.

Таким образом, все исследуемые органогенные субстраты характеризуются специфическим температурным режимом, связанным с активным протеканием экзотермических процессов биохимического разложения органического вещества, вследствие чего наблюдается увеличение температуры корнеобитаемого слоя субстратов с середины лета до конца осени. Наиболее активно «разогревается» компост из ТКО, температура которого в октябре составляет 27-32 °С для всех 3-х лет экспонирования, превышая дневную температуру воздуха на 20-24 °С. В ОСВ также происходят экзотермические процессы, однако менее активно, чем в компостах из ТКО. Значительное увеличение температуры наблюдалось в ОСВ 1 года, и гораздо менее выраженное в ОСВ 2 года, хотя на обеих площадках в октябре было отмечено превышение температуры субстрата над дневной температурой воздуха (на 14 и 2 °С соответственно). Для кофейного жмыха экзотермические процессы прослеживаются только в 1 год экспонирования; в дальнейшем их несколько более высокая по сравнению с фоновой почвой температура связана с лучшей прогреваемостью (отсутствие растительного покрова, темный цвет).

Очевидно, что такой своеобразный температурный режим должен существенным образом влиять на рост и развитие растений, которые поселяются на исследуемых субстратах в процессе их самозаращения. Изучение закономерностей начальных этапов формирования растительного покрова на опытных площадках явилось следующим этапом исследований.

## **5. НАЧАЛЬНЫЕ ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ СУБСТРАТОВ ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЛИГОНА ТКО Г. ГАТЧИНА**

Особенности зарастания используемых для рекультивации органогенных субстратов мало изучены, в то время как именно скорость самозарастания и формирования устойчивых и экологически безопасных экосистем является основным критерием пригодности их в качестве плодородного слоя при рекультивации нарушенных земель. Изучение процесса рекультивации полигона ТКО, а именно, начало формирования растительного покрова на новых видах органогенных субстратов, является одним из важнейших этапов в разработке научных основ формирования экологически безопасных экосистем на нарушенных землях.

Выше было показано, что в условиях хронического загрязнения почв промышленными выбросами стало неизбежным появление санитарно-гигиенического направления рекультивации, которое, по нашему мнению, является наиболее приемлемым и при рекультивации полигонов ТКО. Многочисленными исследованиями, проведенными на территориях со сложным комплексным загрязнением, выявилась чрезвычайная актуальность зеленого строительства, особенно на промышленных площадках, в санитарно-защитных зонах крупных промышленных предприятий, где растительность выполняет функцию защитного фильтра (Тарчевский, 1967; Махнев, Мамаев, 1979). Исследования культурных фитоценозов и естественных фитоценозов на нарушенных землях различных категорий привели к разработке ассортимента газоустойчивых и толерантных к загрязнению тяжелыми металлами растений и типов насаждений (Тарчевский, 1970; Махнев, Махнева, 2010; Опекунова, Опекунов, 2019). Установлено, что дикорастущие сорные растения, сформировавшиеся в условиях техногенного воздействия крупного промышленного центра, обладают более высокими адаптационными способностями к приоритетным загрязнителям по сравнению с культурными растениями (Поздняк, 2011). В результате обширных фитоценологических исследований убедительно показано, что естественный

восстановительный потенциал растительности на нарушенных землях зависит от биоклиматических условий региона и идет, как правило, по зональному типу (Курачев, Андроханов, 2002; Яборов, 2011; Теплякова и др., 2014). Однако для полигонов ТКО, находящихся на территории Ленинградской области, подобные исследования практически не проводились.

Геоботанические описания растительности на опытных площадках рекультивируемого полигона ТКО были проведены старшим научным сотрудником, к.б.н. Т.Е. Тепляковой, которой автор выражает искреннюю благодарность. Описания проводили стандартным методом на пробных площадках 5x5 м (Миркин и др., 2002) на каждом участке с однотипным субстратом и с однородными пространственно-временными параметрами. Для выявления флористического состава осуществлялись маршрутные исследования всех участков полигона, в результате были определены все произрастающие виды растений для каждого типа и возраста субстрата.

Таким образом, были проведены наблюдения за процессом формирования растительного покрова на однотипных субстратах существующих временных рядов с интервалом в один год. Общая длительность экспонирования для субстрата из осадка сточных вод (ОСВ) составляет 2 года, для компоста из ТКО - 3 года, и для субстрата из кофейного жмыха - 4 года.

### **5.1. Формирование растительного покрова на субстрате из ОСВ**

Наблюдения за развитием растительного покрова на субстрате из ОСВ осуществлялось на участках первого и второго года формирования.

Установлено, что зарастание субстрата из ОСВ в первый год формирования растительного покрова происходит исключительно за счет культурных растений-нитрофилов (рис. 5.1, рис. 5.3), а именно, томата съедобного (помидора) и томата мелкоплодного из семейства пасленовых, семена которых сохраняются в осадке сточных вод и при этом сохраняют свою всхожесть, несмотря на все технологические операции, связанные с очисткой сточных вод. Роль остальных видов крайне незначительная: они малочисленны и их доля в проективном покрытии ничтожна. В первый год только пятая часть участка с субстратом из ОСВ



покрыта растительностью, что заметно меньше, чем на единовременном с ним участке с субстратом из компоста.



Рисунок 5.1 – Динамика самозарастания ОСВ, 1 год



Рисунок 5.2 – Динамика самозарастания ОСВ, 2 год

На второй год ситуация кардинально изменяется: участок полностью покрывается растительностью, причем растительный покров формируется видами местной флоры при почти полном отсутствии культурных растений, а его видовой

состав более разнообразен (рис. 5.2, рис. 5.4). Состав жизненных форм усложняется, появляются древесные и кустарниковые формы, однако только их единичные представители выделяются по своим размерам из травяного яруса, который представлен высокотравьем.

## 5.2. Формирование растительного покрова на компосте из ТКО

Наблюдения за формированием растительного покрова на компосте из ТКО осуществлялись на четырех участках, составляющих трехлетний временной ряд. Один из участков был заложен в текущем сезоне наблюдений (лето 2013 г., срок экспонирования 2 месяца) и обозначается как свежий.

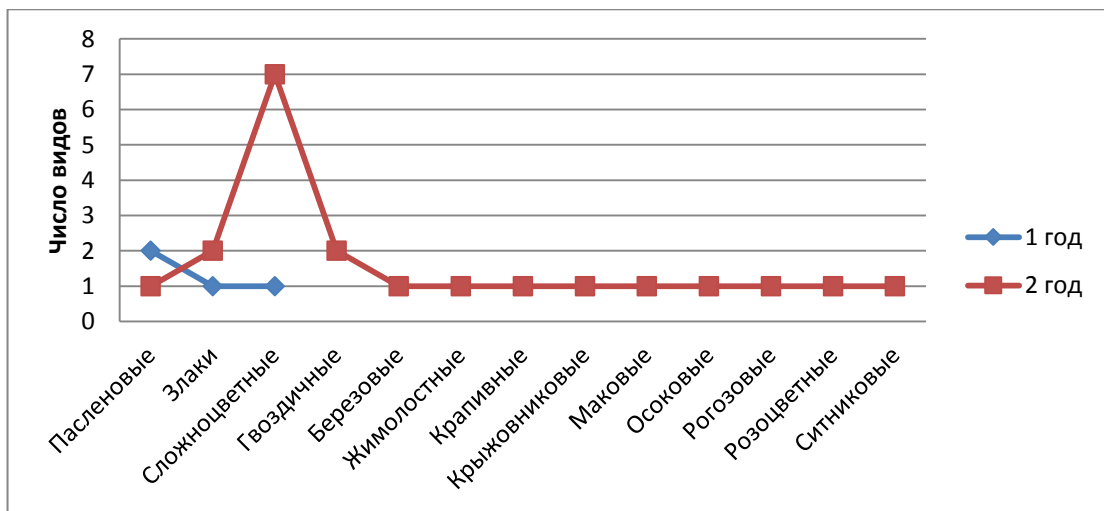


Рисунок 5.3 – Флористический состав участков первого и второго года зарастания субстрата из ОСВ

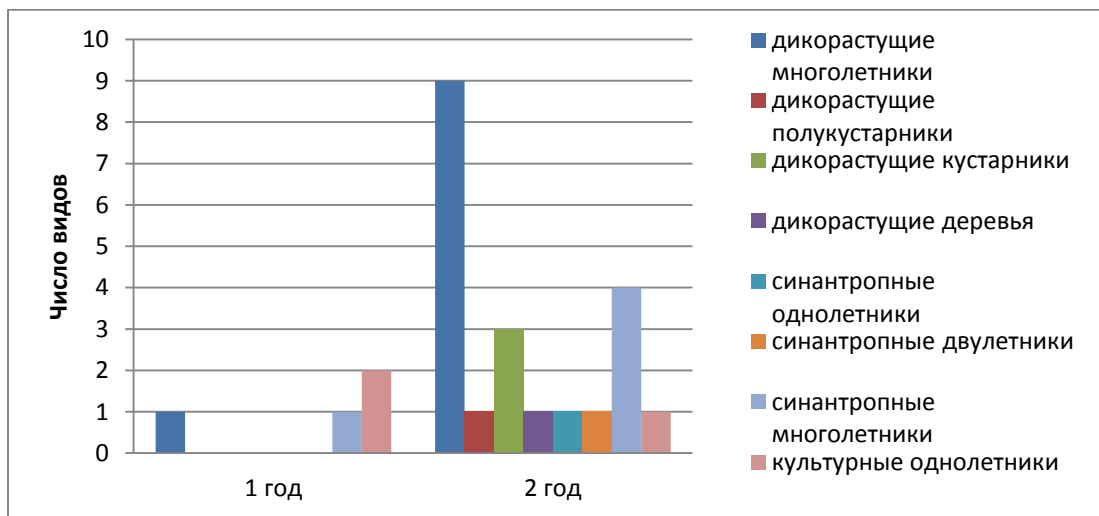


Рисунок 5.4 – Жизненные формы основных групп высших сосудистых растений двухлетнего ряда формирования растительного покрова на субстрате из ОСВ.



Формирование растительного покрова на участке, покрытом субстратом из компоста, начинается уже с первых месяцев. На протяжении трех лет фрагментарное травянистое покрытие становится все более равномерным, а его общее проективное покрытие ежегодно достаточно равномерно возрастает (рис. 5.5).

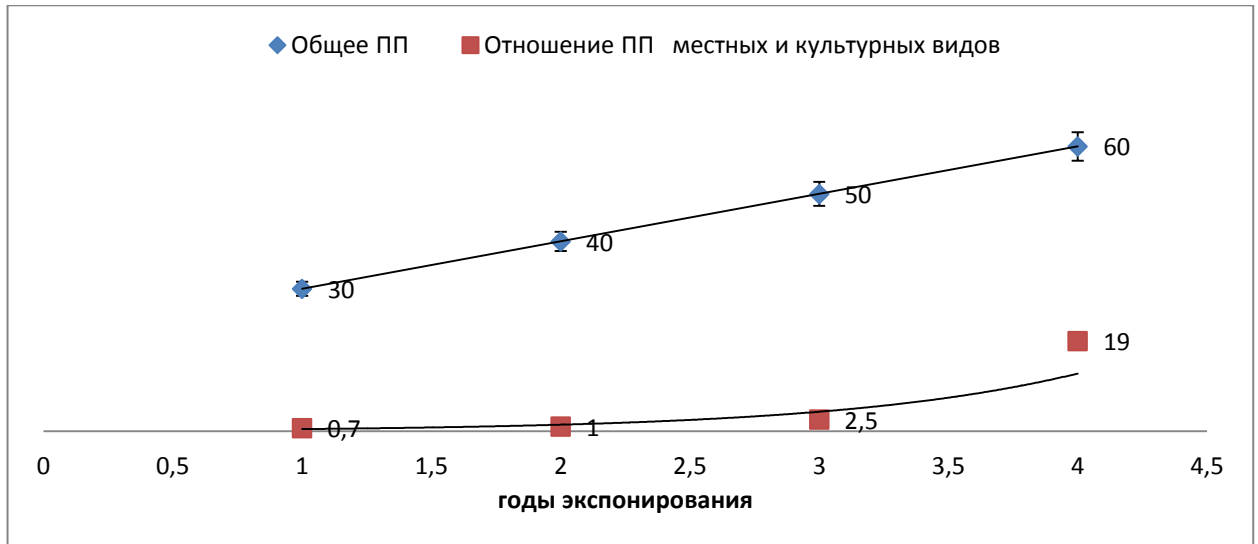


Рисунок 5.5 – Тренды изменения общего проективного покрытия растительного покрова (Общее ПП,%) и соотношения видов местной и культурной флоры в сложении проективного покрытия (ПП) на участках, покрытых компостом из ТКО

В начальной стадии зарастания ведущая роль в формировании проективного покрытия травяного покрова принадлежит исключительно культурным растениям (томаты, тыквы, физалисы), семена которых содержались в компосте и сохранили всхожесть при созревании компоста в биореакторе на мусороперерабатывающем заводе. В последующие годы в сложении растительного покрова стремительно усиливается роль представителей местной флоры, преимущественно сорно-полевых и рудеральных видов (марь, лебеда, крапива, полынь и др.). Можно предположить, что в следующих сезонах тренд изменения соотношения проективного покрытия местных и культурных видов на компосте их ТКО будет соответствовать экспоненте, приведенной на рисунке 5.6.

В целом, видовое разнообразие растений на зарастающем компосте из ТКО увеличивается и, очевидно, будет в дальнейшем возрастать.

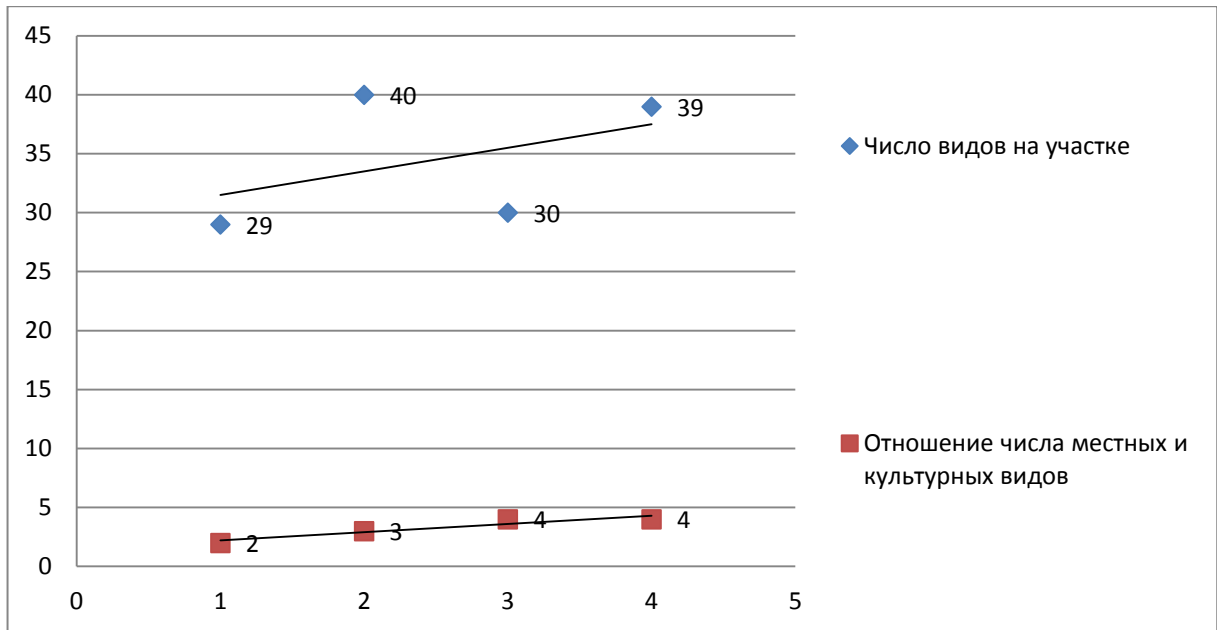


Рисунок 5.6 – Тренды изменения числа видов, соотношения числа видов местной и культурной флоры на участках, покрытых компостом из ТКО

Рассмотрим более подробно флористический состав растительных сообществ, формирующихся на опытных площадках компоста из ТКО (табл. 5.1). Среди семейств, наиболее широко представленных в растительных сообществах, уже в первый год зарастания ведущая роль принадлежит сложноцветным, маревым, пасленовым и тыквенным.

В первый год существования участка, как указывалось выше, в видовом составе преобладают культурные растения: виды из семейств пасленовых (томат съедобный, томат мелкоплодный, физалис овощной, ф. земляничный), тыквенных (тыква обыкновенная, тыква крупноплодная, арбуз обыкновенный, дыня столовая) и сложноцветных (салат посевной, подсолнечник однолетний).

Начиная со второго года зарастания, видовое разнообразие сложноцветных возрастает за счет увеличения числа видов местной флоры (осот полевой, чертополох курчавый) при сохранении почти всех видов, отмеченных в первый год.



Таблица 5.1. Флористический состав площадок зарастания компоста из ТКО, число видов, шт.

Семейство	Срок экспонирования			
	свежий (2 месяца)	1 год	2 года	3 года
Сложноцветные	8	8	9	11
Маревые	6	6	6	6
Пасленовые	6	7	4	4
Тыквенные	4	4	2	2
Крестоцветные	2	3	1	1
Жимолостные	1	1	1	1
Злаки	1	1	1	3
Крапивные	1	1	1	1
Гречишные	-	2	1	1
Ивовые	-	2	2	2
Березовые	-	1	1	1
Бобовые	-	1	-	-
Вьюнковые	-	1	1	1
Кипрейные	-	1	1	1
Мальвовые	-	1	-	1
Розоцветные	-	-	-	3
Амарантовые	-	-	-	1

Следует подчеркнуть, что большинство видов сложноцветных, выросших на участке первого года, являются представителями местной флоры (одуванчик лекарственный, тысячелистник обыкновенный, пижма обыкновенная, полынь обыкновенная и др.), роль которых в сложении растительного покрова последующие годы только усиливается.

Иная судьба у представителей культурной флоры: более теплолюбивые виды семейств пасленовых и тыквенных исчезают уже на второй год (физалис

земляничный, арбуз обыкновенный, дыня столовая), а у остальных существенно снижается роль в сложении растительного покрова.

Другой путь у семейства маревых. Все виды этого семейства (марь белая, лебеда лоснящаяся и др.), отмеченные на полигоне, относятся к синантропным представителям местной флоры. Их видовое разнообразие сохраняется на одном уровне, но роль в сложении растительного покрова существенно возрастает.

Изменение видового разнообразия в этих важнейших семействах за три года зарастания опытных площадок представлено на рисунке 5.7.

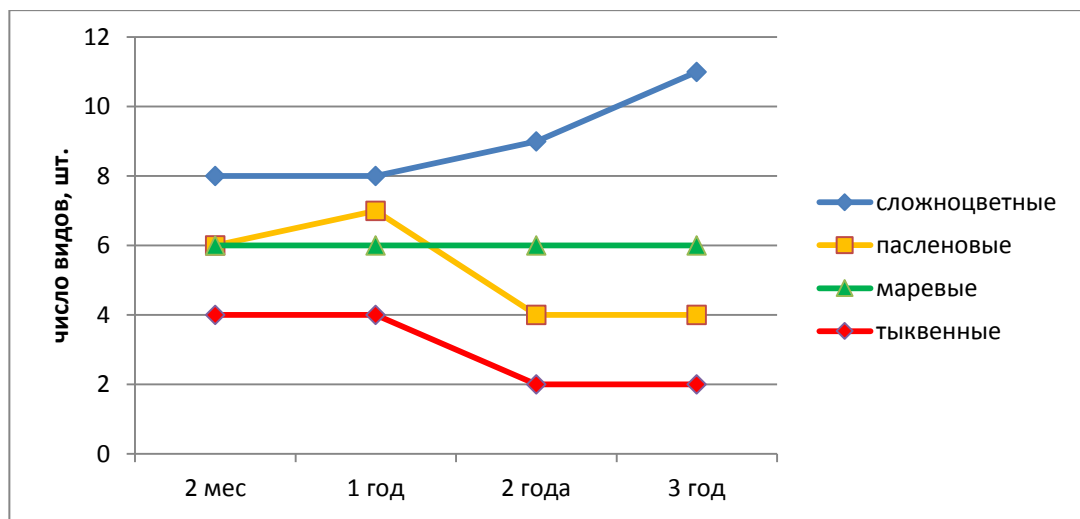


Рисунок 5.7 – Изменение видового разнообразия в семействах, играющих ведущую роль за трехлетний период зарастания компоста из ТКО

Как уже отмечалось выше, в формировании растительного покрова полигона принимают участие растения как культурной, так и местной флоры (в ее составе дикорастущие и синантропные виды). Помимо этого, отмечены два вида (никандра физалисовидная и канатник Теофраста), которые являются заносными растениями, более требовательными к теплу сорняками субтропических культур.

Никандра физалисовидная - однолетнее растение из семейства пасленовых, происходит из Южной Америки, как сорняк встречается южных районах умеренно теплой и субтропической зоны Евразии, во многих странах культивируется как декоративное. В нашем регионе встречается редко и единично (Пояркова, 1981). Ее плоды внешне очень похожи на плоды физалиса овощного, но в отличие от него

ядовиты. На полигоне к концу вегетационного сезона 2013 года плоды никандры полностью созрели, поэтому есть вероятность сохранения этого вида в составе растительного покрова полигона.

Канатник Теофраста из семейства мальвовых также является однолетником. Это широко распространенный сорняк в южных районах умеренно теплой зоны, в тропиках и субтропиках обоих полушарий, в нашем регионе является исключительно заносным растением (Оляницкая, 1996). На полигоне его плоды не смогли полностью сформироваться, поэтому его появление на последующих этапах формирования растительного покрова маловероятно.

В естественной растительности региона господствуют лесные сообщества с ведущей ролью деревьев среди жизненных форм. Проведенные исследования позволили проследить структуру жизненных форм растительного покрова на субстрате из компоста с самых первых фаз его формирования.

Полевыми наблюдениями было установлено, что на всех участках с компостом все представители древесных и кустарниковых форм пока еще не превышают по высоте уровень травяного яруса, достигающего максимальной высоты 1-1,5 м на третий год. Таким образом, за трехлетний период формирование кустарникового яруса, а тем более древесного, не происходит. В то же время представители кустарниковых и древесных форм были отмечены как среди местных видов (береза бородавчатая, ива козья, осина обыкновенная), так и культурных (яблоня садовая, черноплодная рябина Мичурина). Следует подчеркнуть, что уже в течение трехлетнего периода происходит изменение соотношения травянистых и древесно-кустарниковых в пользу последних, особенно заметное на второй год (рис. 5.8).

Таким образом, за три года на субстрате из компоста формируется растительный покров, который из фрагментарного становится все более развитым и равномерным; в его видовом составе происходит постепенное вытеснение культурных растений видами местной флоры, преимущественно синантропного

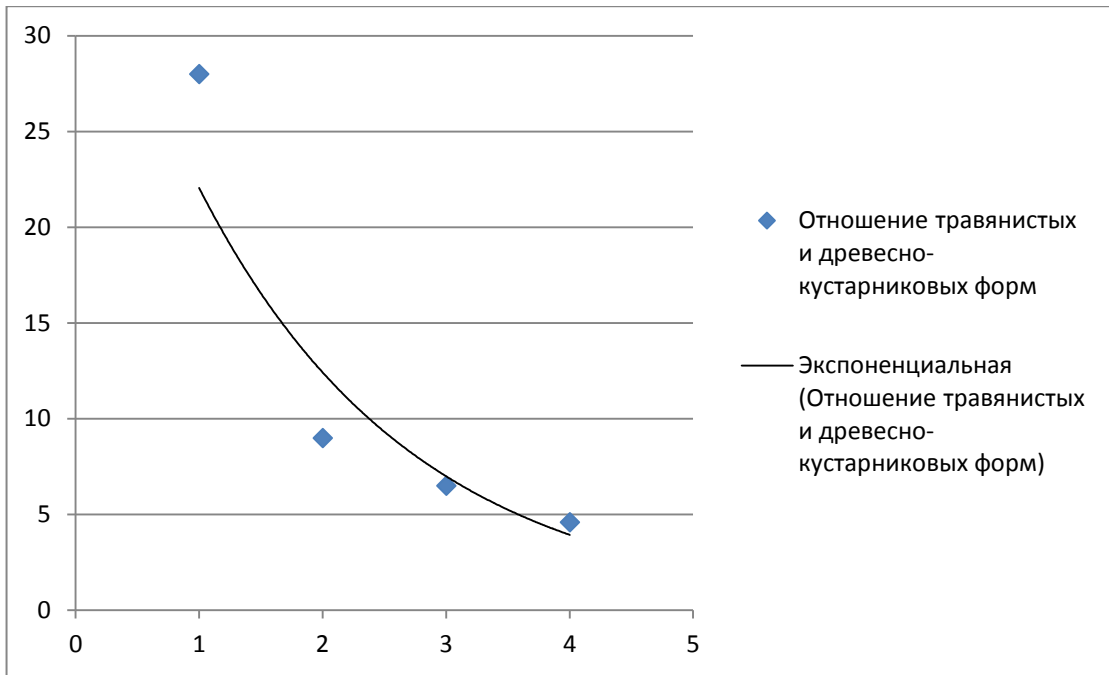


Рисунок 5.8 – Тренд отношения травянистых и древесно-кустарниковых форм трехлетнего ряда формирования растительного покрова на компосте из ТКО.

характера. В то же время пока еще на уровне травяного яруса происходит развитие семян деревьев и кустарников, способных в дальнейшем к образованию древесно-кустарникового полягоа из лиственных деревьев и кустарников (рисунок 5.9-5.11).



Рисунок 5.9 – Динамика самозарастания компоста из ТКО, 1 год





Рисунок 5.10 – Динамика самозарастания компоста из ТКО, 2 год



Рисунок 5.11 – Динамика самозарастания компоста из ТКО, 3 год



### **5.3. Формирование растительного покрова на субстрате из кофейного жмыха**

Наблюдения за формированием растительного покрова на субстрате из кофейного жмыха осуществлялось на четырех участках, каждый из которых был сформирован в течение четырех следующих друг за другом лет.

На субстратах из кофейного жмыха, участки которых создавались от одного до трех лет, растительный покров полностью отсутствовал. Только на четвертый год на субстрате из кофейного жмыха формируются небольшие заросли многолетних видов в микропонижениях и по окраине участка. Среди них преобладают монодоминантные куртины многолетних трав, сложенные хвощом полевым, осокой коротковолосистой, осокой желтой, осокой заячьей, тростником обыкновенным. В местах обнажений строительных отходов из бетона, использованных как твердая основа для покрытия из кофейного жмыха, встречаются куртины из мать-и-мачехи.

В этот же год начинается формирование разреженного древесно-кустарникового полога преимущественно по периферии участка из быстро растущих ивы козьей, осокоря и тополя дельтовидного, отдельные представители которых достигают двухметровой высоты, а также более низких единичных сеянцев яблони садовой. Однако большинство экземпляров древесных видов по высоте не отличаются от видов травяного яруса.

Общее проективное покрытие растительного покрова участка, покрытого четырехлетним кофейным жмыхом, очень низкое и, в целом, не превышает 10 %.

На начальном этапе исследования формирования биоценозов на субстрате из кофейного жмыха можно отметить следующие основные особенности образования его растительного покрова.

Формирование растительного покрова на субстрате из кофейного жмыха происходит, в основном, многолетними дикорастущими видами естественной флоры Северо-Запада Восточной Европы (рис. 5.12), в частности, наиболее заметная роль принадлежит хвощу полевому и некоторым видам осок, преимущественно произрастающих на лугах. Синантропные виды представлены немногочисленными особями многолетних растений, в частности полынью

обыкновенной и бодяка щетинистого, и, единично, однолетней травой горцем развесистым.

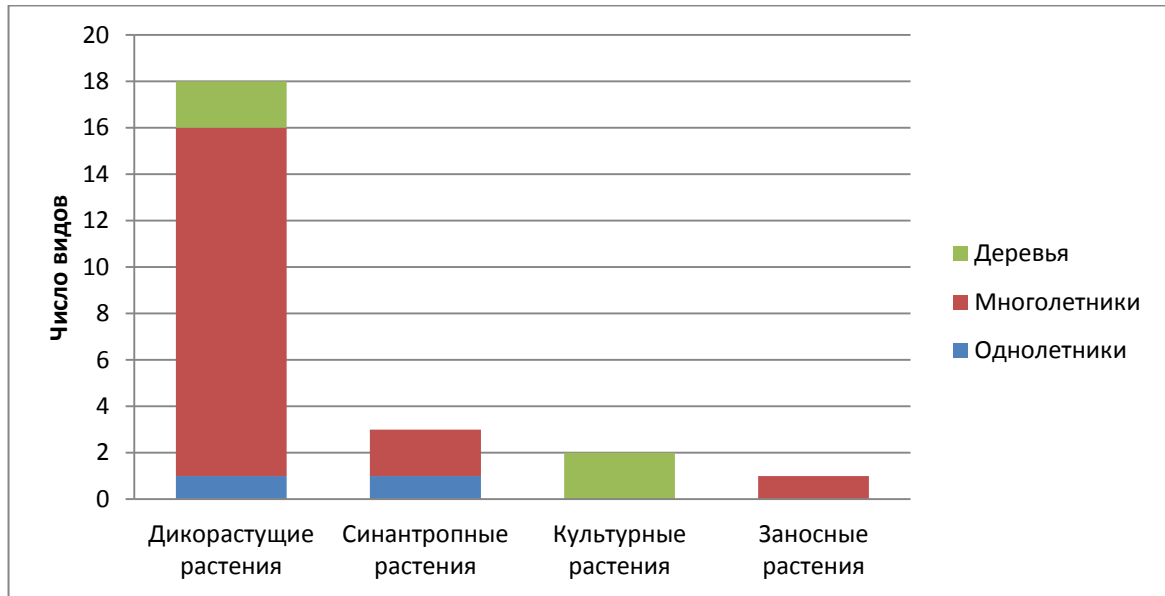


Рис.5.12 – Соотношения жизненных форм основных групп высших сосудистых растений начального этапа формирования растительного покрова на субстрате из кофейного жмыха

Здесь отмечены немногочисленные экземпляры сеянцев культурных деревьев, а именно, яблони культурной и тополя дельтовидного.

Одна куртина на периферии площадки образована заносным североамериканским многолетником золотарником канадским, который активно расселяется в регионе, начиная с последнего десятилетия двадцатого века по настоящее время.

В целом, для зарастания субстрата из кофейного жмыха характерны крайне низкие темпы формирования растительного покрова, начинающегося только на четвертый год, причем общее проективное покрытие участка в целом не превышает 10 %. Помимо этого, здесь происходит формирование одновременно и травяного покрова, и древесно-кустарникового полога. На начальном этапе зарастания образуется фрагментарная структура растительного покрова в виде небольших монодоминантных куртин из многолетних видов травяного яруса в микропонижениях и небольших групп деревьев, не превышающих по высоте кустарниковый ярус, по периферии площадки (рис. 5.13, рис. 5.14)



Рисунок 5.13 – Динамика самозарастания кофейного жмыха, 1 год



Рисунок 5.14 – Динамика самозарастания кофейного жмыха, 4 год



#### 5.4. Особенности формирования надземной биомассы растений на разных субстратах

Формирование биомассы растений как процесс, отражающий общий итог активного почвенного богатства и функционирования и метаболизма растений, может и должен использоваться в качестве универсального показателя при оценке экологического состояния экосистем. Обладая высокой чувствительностью к изменению внутренних и внешних факторов и оказывая непосредственное влияние на продуктивность биоценоза, надземная биомасса растений является именно тем показателем, который в наибольшей степени пригоден в качестве интегрального показателя функционирования экосистемы в целом.

Как видно из приведенных данных (табл. 5.2), все субстраты, использованные при рекультивации полигона, отличаются по активности процессов формирования биомассы.

Таблица 5.2. Величина надземной биомассы рекультивируемых площадок, сентябрь 2013 г.

n=4, P=0,095

Субстрат	Срок экспонирования	Надземная биомасса, кг/м <sup>2</sup>
Компост из ТКО	2 месяца	1,70±0,75*
	1 год	3,70±0,25
	2 года	3,28±0,20
	3 года	3,80±0,18
ОСВ	1 год	2,81±0,50
	2 год	3,48±0,35
Кофейный жмых	1 год	0
	2 года	0
	3 года	0
	4 года	0,93±0,11
Контроль (дерново-подзолистая почва С33)		1,12±0,14

\* - ошибка выборочной средней.

Компост из ТКО начинает активно зарастать уже в первый год своего экспонирования, хотя, как указывалось выше, зарастание происходит очень неравномерно, фрагментарно, что и отражается на очень большой относительной ошибке выборочной средней. По мере увеличения срока зарастания биомасса увеличивается, и в течение следующих трех лет составляет 3,3-3,8 кг/м<sup>2</sup>. Эта величина намного превосходит среднюю урожайность многолетних трав не только естественных, но и улучшенных сенокосов (Мазуркин, Михайлова, 2010), которая обычно колеблется от 0,8 до 1,8 кг/м<sup>2</sup>. Равномерность зарастания при этом становится такой, что относительная ошибка определения уменьшается почти в 5 раз.

ОСВ, процессы самозарастания которого происходят наиболее активно среди изученных субстратов, также характеризуется активным накоплением биомассы, которая к концу второго года экспонирования достигает 3,48 кг/м<sup>2</sup>, что намного превосходит продуктивность естественных луговых биоценозов и сельскохозяйственных улучшенных сенокосов.

Результаты определения надземной биомассы растений на кофейном жмыхе полностью отражают процессы медленного зарастания этого субстрата, которые были отмечены выше. Учесть количественно биомассу было возможно только на участке 4 года самозарастания, и здесь она была в 4 раза меньше, чем на ОСВ и компосте из ТКО соответственно.

В итоге по степени активного богатства на компосте из ТКО к 3-му году экспонирования, а на субстрате ОСВ уже ко 2-му году экспонирования формируются трофические режимы, аналогичные режиму богатых почв; в то же время на субстрате из кофейного жмыха трофический режим только на 4-й год экспонирования достиг уровня небогатых почв по шкале Цыганова (1976).

### **5.5. Санитарно-химическая оценка растительности на органогенных субстратах**

Для оценки экологической безопасности растений, выросших на опытных площадках полигона ТКО, были проанализированы некоторые образцы сорных и культурных растений. Полученные результаты приведены в таблицах 5.3 и 5.4.

Установлено, что культурные растения, выросшие самосевом на ОСВ 1 года (кабачки и тыквы) содержат повышенное содержание нитратов, что вполне ожидаемо в связи с очень большим количеством подвижных форм азота в этом субстрате. В определенной степени растения на ОСВ загрязнены тяжелыми металлами – в большей степени листья, ботва, и в меньшей степени – плоды. Среди металлов-загрязнителей преобладают цинк, никель, кобальт, свинец, кадмий и железо, в плодах встречаются только никель и кобальт. Сорная растительность (крапива), преобладающая на площадке 2 года экспонирования ОСВ, практически не содержит вредных количеств тяжелых металлов, за исключением небольшого превышения по цинку (в 1,3 раза).

Растения, собранные на опытных площадках, рекультивированных с использованием компоста из ТКО, примерно в половине проб содержали повышенные количества цинка и никеля, а также нитратов.

Содержание тяжелых металлов в растениях на кофейном жмыхе не превышало максимально допустимый уровень, разрешенный для сочных и грубых кормов.

Таким образом, растения на ОСВ и компосте из ТКО примерно в половине изученных проб содержали повышенные количества тяжелых металлов. Содержание ТМ в растениях на ОСВ было большим по количеству элементов, превышающих допустимый уровень (шесть), чем в растениях на компосте из ТКО (два элемента – цинк и никель). На этом основании можно утверждать, что растения, выросшие на полигоне ТКО, не могут быть использованы как корм для сельскохозяйственных животных.

Таблица 5.3 – Санитарно-химические показатели растительности на ОСВ.

n=4, P=0,095

Показатель, мг/кг а.с.в.	1 год				2 года	7 лет	20 лет	МДУ*
	кабачок, ботва	кабачок, плод	тыква, ботва	тыква, плод	крапива	тростник	камыш	
Медь	12,0±1,0**	6,5±0,50	27,0±2,5	3,5±0,3	17,0±1,5	38,0±4,0	4,5±0,5	30,0
Цинк	95,0±9,7	35±3,0	90,0±8,5	28,0±3,0	67,0±7,0	90,0±8,5	35,0±3,0	50,0
Свинец	8,0±0,75	1,50±0,1	4,0±0,3	<0,10±0,05	<0,10±0,05	15,0±1,5	1,15±0,2	5,0
Кадмий	0,35±0,05	0,15±0,05	1,5±0,1	0,30±0,05	<0,10±0,05	<0,10±0,05	<0,10±0,05	0,30
Никель	4,5±0,5	4,5±0,5	13,0±1,0	3,5±0,5	2,50±0,2	7,5±0,8	1,7±0,1	3,0
Кобальт	2,0±0,05	2,0±0,5	2,5±0,5	3,0±0,4	<0,10±0,05	<0,10±0,05	<0,10±0,05	1,0
Марганец	48,0±5,0	7,0±0,5	43,0±4,5	6,5±0,7	57,0±6,0	92,5±9,0	80,0±5,0	200,0
Железо	416,0 ±55,0	32,0±5,0	680,0±61,0	36,0±3,5	85,0±9,0	1050,0±95,0	160,0±15,0	100,0
Нитраты	не опр.	850,0±90,0	не опр.	550,0±50,0	не опр.	не опр.	не опр.	400,0
ГХЦГ (α, β, γ-изомеры)	0,001	0,001	0,005	0,002	0,001	0,001	0,005	0,5
ДДТ и его метаболиты	0,000	0,002	0,006	0,000	0,001	0,005	0,002	0,1

\*МДУ – максимально допустимый уровень некоторых химических элементов в кормах для сельскохозяйственных животных, мг/кг. Утв. ГУ ветеринарии Госагропрома СССР 07.08.1987.

\*\* - ошибка выборочной средней.

Таблица 5.4 – Санитарно-химические показатели растительности на компосте из ТКО и кофейном жмыхе, 2013 г.  
n=4, P=0,095

Показатель, мг/кг а.с.в.	Компост из ТКО							Кофейный жмых	МДУ*
	1 год					2 года	3 года	4 года	
	кабачок	тыква	тыква	арбуз, ботва	арбуз, плод	сорная растительность		Хвощ	
Медь	4,5±0,5**	4,0±0,5	2,7±0,5	16,5±1,5	6,50±0,5	9,0±1,0	14,5±1,5	7,5±0,5	30,0
Цинк	35,0±3,3	35±3,5	33,0±3,0	45±5,0	65,0±5,0	165±15,0	395±35	41,0±4,0	50,0
Свинец	1,0±0,1	<0,1±0,05	<0,1±0,05	3,5±0,5	<0,1±0,05	4,0±0,5	5,0±0,5	4,0±0,5	5,0
Кадмий	0,2±0,03	0,19±0,05	0,25±0,05	0,2±0,05	0,06±0,05	<0,10±0,05	<0,10±0,05	<0,10±0,05	0,30
Никель	1,7±0,05	3,20±0,5	2,5±0,5	5,0±0,5	3,5±0,5	3,0±0,5	3,5±0,5	2,0±0,2	3,0
Марганец	80,0±8,5	12,0±1,5	10,0±1,0	115±10,0	12,5±1,5	27,0±3,0	41,0±4,0	100±10	200
Нитраты	465±45,0	445±45,0	не опр.	87,5±9,0	260±25,0	не опр.	не опр.	не опр.	400
ГХЦГ (α, β, γ- изомеры) мг/кг	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,005	0,002	0,5
ДДТ и его метаболиты мг/кг	0,001	0,0020	0,002	0,001	0,000	0,002	0,006	0,001	0,1

\*МДУ – максимально допустимый уровень некоторых химических элементов в кормах для сельскохозяйственных животных, мг/кг. Утв. ГУ ветеринарии Госагропрома СССР 07.08.1987.

\*\* - ошибка выборочной средней.

## Выводы

1. Самые низкие темпы зарастания характерны для субстрата из кофейного жмыха, формирование растительного покрова которого начинается только на четвертый год, причем его общее проективное покрытие едва достигает 10%. Только на субстрате из кофейного жмыха ведущие роли в сложении растительного покрова с самого начала принадлежат дикорастущим видам местной флоры.

2. Самые высокие темпы зарастания характерны для субстрата из ОСВ: на второй год общее проективное покрытие растительного покрова составляет 100%. На субстрате из ОСВ в начальную фазу зарастания наиболее значительна роль культурных растений.

3. Оценка трофического богатства субстратов, проведенная на основании анализа растительной надземной биомассы, выявила, что компосте из ТКО к 3-му году экспонирования, а на субстрате ОСВ уже ко 2-му году экспонирования формируются трофические режимы, аналогичные режиму богатых почв; в то же время на субстрате из кофейного жмыха трофический режим только на 4-й год экспонирования достиг уровня небогатых почв по шкале Цыганова.

4. Как правило, уже на начальных фазах формирования растительного покрова на рекультивируемых площадках полигона ТКО в травяном ярусе появляются сеянцы деревьев и кустарников, среди которых представлены как виды местной флоры (береза, осина, ива, осокорь и др.), так и представители культурной флоры (яблоня, черноплодная рябина и др.), что может рассматриваться как залог высоких темпов восстановления лесной экосистемы полуприродного характера.

6. Субстраты, используемые для рекультивации полигона (кроме кофейного жмыха), могут служить стартовыми площадками для внедрения новых или редких для региона заносных видов, впоследствии имеющих шансы включиться в состав синантропной флоры как сорные и рудеральные виды. В этой связи в целях экологической безопасности требуются регулярные мониторинговые исследования всех стадий формирования растительного покрова вплоть до хорошо развитых конкурентоспособных систем с сомкнутым древесно-кустарниковым пологом и травяно-кустарничковым покровом из многолетних дикорастущих видов местной флоры.

## ВЫВОДЫ

1. Рекультивация полигона ТКО по рекомендуемой технологии с использованием органометных субстратов привела к заметному положительному изменению качества окружающей среды.
2. Установлено, что исследуемые органометные субстраты значительно различаются по агрохимическим свойствам. Два субстрата – компост из ТКО и ОСВ – отличаются высоким трофическим богатством, являются нейтральными, характеризуются высоким содержанием обменных оснований, повышенным содержанием фосфора и калия и высоким содержанием азота (особенно ОСВ). Кофейный жмых очень кислый, обеднен фосфором; чрезвычайно широкое отношение C:N, равное 39,9, является причиной того, что растения на кофейном жмыхе должны испытывать недостаток азота. Все органометные субстраты были относительно безопасны по санитарно-химическим показателям.
3. Все исследуемые органометные субстраты характеризовались специфическим температурным режимом, связанным с активным протеканием экзотермических процессов биохимического разложения органического вещества, вследствие чего наблюдалось увеличение температуры корнеобитаемого слоя субстратов с середины лета до конца осени.
4. Процессы самозарастания субстратов, использованных для рекультивации полигона ТКО, значительно различались в зависимости от вида субстрата. Самые низкие темпы зарастания были характерны для кофейного жмыха, формирование растительного покрова на котором началось только на четвертый год, причем его общее проективное покрытие едва достигало 10%. В то же время для компоста из ТКО и особенно субстрата из ОСВ были характерны очень высокие темпы зарастания, вследствие чего общее проективное покрытие растительного покрова на площадках с ОСВ уже на 1-2 год достигало 100%. Надземная биомасса растений на площадках ОСВ и компоста ТКО 2-3 года достигала величины 3,3-3,8 кг/м<sup>2</sup>, что

в несколько раз превосходит среднюю урожайность многолетних трав не только естественных, но и улучшенных сенокосов.

5. Выявлены существенные различия в видовом составе растительности на разных субстратах. Компосты из ТКО и особенно ОСВ в первые годы зарастали исключительно культурными растениями-нитрофилами, однако в последующие годы происходило постепенное их вытеснение видами местной флоры преимущественно синантропного характера. На начальных стадиях в травяном ярусе появлялись сеянцы деревьев и кустарников, среди которых были представлены как виды местной флоры, так и культурной флоры. На субстрате из кофейного жмыха ведущие роли в сложении растительного покрова принадлежали исключительно дикорастущим видам местной флоры.



## **Рекомендации по использованию результатов выполненных исследований при рекультивации полигонов ТКО**

1. ОСВ и компосты из ТКО могут быть использованы не только для промежуточной и окончательной изоляции отходов на полигонах твердых бытовых (коммунальных) и промышленных отходов, но и для рекультивации этих полигонов.
2. В качестве плодородного грунта при рекультивации полигонов ТКО целесообразно использовать ОСВ и компост из ТКО, что является эффективным и экологически безопасным мероприятием, способствующим активному самозарастанию территории.
3. Кофейный жмых можно использовать только для составления рекультивационных смесей, так как скорость его самозарастания очень низкая из-за повышенной кислотности и низкого содержания питательных элементов (азота), тем темнее это существенно эффективнее сжигания.
4. Корректно подобранный плодородный слой из органогенных субстратов (ОСВ или компоста ТКО) обеспечивает активное самозарастание рекультивированной поверхности полигона без проведения дополнительных мероприятий биологического этапа рекультивации (внесение удобрений, посев трав, уход за посевами и т.д.).

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Абрамов, Н.Ф. Отходы мегаполиса: морфологический и фракционный состав / Н.Ф. Абрамов, С.В. Архипов, М.В. Карелин, Я.А. Жилинская // Твердые бытовые отходы. – 2009. – № 9. – С. 42–45.
2. Амосов, Д.А. Приморская городская свалка как источник загрязнения окружающей среды радионуклидами и тяжелыми металлами / Д.А. Амосов, А.Ю. Максимов, Т.Ю. Пикунова // Российский геофизический журнал. – 2000. – № 17–18. – С. 90–102.
3. Архипченко, И.А. Микробные удобрения из органических отходов для рекультивации почв и производства почвогрунтов / И.А. Архипченко, О.В. Орлова // Почвенные ресурсы Северо-Запада России: их состояние, охрана и рациональное использование: материалы межрегиональной научно-практической конференции. – СПб, 2008. – С. 7–13.
4. Архипченко, И.А. Органическая фракция ТКО как основа для получения почвогрунтов / И.А. Архипченко, О.В. Орлова, А.В. Жигунов, Д.А. Шабунин, А.Ю. Брюханов // Твердые бытовые отходы. – 2018. – №5 (143). – С. 19–21.
5. Ашихмина, Т.В. Геоэкологический анализ состояния окружающей среды и природоохранные рекомендации в районе расположения полигонов ТБО Воронежской области: дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36 / Ашихмина Татьяна Валентиновна. – Воронеж, 2014. – 187 с.
6. Арчегова, И.Б. Роль биологического фактора в процессе формирования почвы в таежной зоне / И.Б. Арчегова, А.Н. Панюков, Е.Г. Кузнецова, В.А. Ковалева // Вестн. С.-Петерб.ун-та. Сер. 3. – 2016. – Вып. 2. – С. 127–139.
7. Анопченко, Т.Ю. Зарубежный опыт управления в сфере твердых бытовых отходов / Т.Ю. Анопченко, С.А. Кирсанов, М.А. Чернышев // Российский академический журнал. – 2014. – № 1. – С. 8–14.
8. Бакина, Л.Г. К методике фитотестирования техногенно загрязненных почв и грунтов / Л.Г. Бакина, Т.В. Бардина, Н.В. Маячкина, М.В. Чугунова, Л.П. Капелькина // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения:

материалы международной конференции. – Апатиты, 31 августа–3 сентября 2004 г. – С. 167–169.

9. Балутина, К. Определение токсичности жмыха кофе / К. Балутина, И. Третьякова, Е. Кровш, О.Б. Кожина, М.А. Надпорожская // Рациональное использование природных ресурсов и проблемы сохранения биоразнообразия: материалы X ежегодной молодежной экологической Школы-конференции в усадьбе «Сергиевка» – памятнике природного и культурного наследия. – СПб, 2015. – С. 214–216.

10. Банкаина, Т.А. Хроматография в агроэкологии / Т.А. Банкаина, М.Ю. Петров, Т.М. Петрова, М.П. Банкин. – СПб.: изд-во НИИ Химии СПбГУ, 2002. – 580 с.

11. Барановский, И.Н. Осадок сточных вод в земледелии Нечерноземной зоны / И.Н. Барановский, Д.П. Гладких. – Тверь: АГРОСФЕРА, 2007. – 98 с.

12. Барышева, О.Б. Влияние недогорания твердых бытовых отходов при термоутилизации на образование токсичных веществ / О.Б. Барышев, Ю.Х. Хабибуллин // Известия КГАСУ. Экология (в строительстве). – 2012. – № 2 (20). – С. 228–232.

13. Барцев, И.А. Анализ стратегий утилизации и переработки ТБО в российской федерации / И.А. Барцев, О.В. Трофимов, И.С. Доценко // Управление экономическими системами. – 2013. – № 9 (57). – С. 34.

14. Белопухов, С.Л. Применение отходов производства кофе для удобрения овса на дерново-подзолистой супесчаной почве / С.Л. Белопухов, Н.К. Сюняев, О.И. Сюняева, И.С. Прохоров // Агрохимия. – 2016. – № 2. – С. 65–70.

15. Бертокс, П. Стратегия защиты окружающей среды от загрязнений / П. Бертокс, Д. Радд. – М.: Мир, 1980. – 608 с.

16. Бобович, Б.Б. Переработка отходов производства и потребления: Справочное издание / Б.Б. Бобович, В.В. Девяткин; под ред. Б.Б. Бобовича. – М.: Интернет Инжиниринг, 2000. – 496 с.

17. Богатырев, С.М. Экологическая оценка эффективности использования ОСВ в качестве удобрения в условиях Курской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 11.00.11 / Богатырев Сергей Михайлович. – Курск, 1999. – 21 с.
18. Брагинский, Л.П. К методике токсикологического эксперимента с тяжелыми металлами на гидробионтах / Л.П. Брагинский, П.Н. Линник // Гидробиологический журнал. – 2003. – № 1. – С.92–104.
19. Вайсман, Я.И. Полигоны депонирования твердых бытовых отходов / Я.И. Вайсман, В.Н. Коротаев, Ю.В. Петров. – Пермь: Пермский гос. техн. ун-т, 2001. – 150 с.
20. Варехов, А.Г. Рециклинг отходов как вид сервисной деятельности / А.Г. Варехов // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2012. – № 2. – С.48–54.
21. Васбиева, М.Т. Влияние длительного применения осадков сточных вод в качестве удобрения на продуктивность зернотравяного севооборота и качество сельскохозяйственных культур / М.Т. Васбиева // Агрохимия. – 2016. – № 1. – С. 44–51.
22. Васенев, И.И. Агроэкологическая оценка характерных для калужской области старопахотных легких дерново-подзолистых почв после неоднократного применения свежих и обезвоженных осадков сточных вод / И.И. Васенев, Н.К. Сюняев, Б. Бадарч // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 10. – С. 12–16.
23. Венцюлис, Л.С. Система обращения с отходами: принципы организации и оценочные критерии / Л.С. Венцюлис, Ю.И. Скорик, Т.М. Флоринская. – СПб: изд-во ПИЯФ РАН, 2007. – 207 с.
24. Витковская, С.Е. Агроэкологическая оценка субстратов на основе компоста из твердых бытовых отходов / С.Е. Витковская // Агрохимия. – 2008. – № 8. – С. 60–67.
25. Витковская, С.Е. Влияние органических отходов на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы и поступление тяжелых металлов в растения / С.Е. Витковская, В.Ф. Дричко // Агрохимия. – 2002. – № 7. – С.5–10.

26. Витковская, С.Е. Изменение содержания подвижных форм химических элементов в процессе трансформации органического вещества компоста из твердых бытовых отходов / С.Е. Витковская // *Агрохимия*. – 2005. – № 4. – С.27–31.
27. Витковская, С.Е. Твердые бытовые отходы: антропогенное звено биологического круговорота / С.Е. Витковская. – СПб.: АФИ, 2012. – 132 с.
28. Витковская, С.Е. Оценка потенциальной экологической опасности фильтрационных вод полигонов твердых коммунальных отходов ленинградской области/ Витковская С.Е., Шилова Ю. О., Малюхин Д. М. // *Агрохимия*. 2019. №1. С.1–7.
29. Воробьева, Р.П. Использование осадков сточных вод / Р.П. Воробьева, А.С. Давыдов, Л.Ф. Новикова, Е.А. Пивень, А.В. Шуравилин // *Агрохимический вестник*. – 2000. – № 6. – С. 36–37.
30. Гарин, В.М. Утилизация твердых отходов / В.М. Гарин. Ростов-н/Д: изд-во Феникс, 2004. – 146 с.
31. Горбачева, Л.А. Зарубежный опыт мусоросжигания / Л.А. Горбачева // *Энергия: экономика, технология, экология*. – 2009. – № 7. – С. 49–54.
32. ГОСТ 17.5.3.04-83 Охрана природы (ССОП). Земли. Общие требования к рекультивации земель. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 11 с.
33. ГОСТ 17.5.1.01-83 Охрана природы. Рекультивация земель. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 8 с.
34. ГОСТ 30772–2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2008. – 16 с.
35. ГОСТ Р 54651-2011 Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2012. – 15 с.
36. ГОСТ Р 55571-2013 Удобрения органические на основе твердых бытовых отходов. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2014. – 14 с.
37. ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. – М.: Стандартинформ, 2008. – 5 с.

38. ГОСТ Р 54534-2011 Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Требования при использовании для рекультивации нарушенных земель. – М.: Стандартиформ, 2012. – 8 с.

39. Гонопольский, А.М. Экспериментальное исследование состава фильтрата полигона ТБО и технология его реагентного обезвреживания / А.М. Гонопольский, Н.Е. Николайкина, Н.И. Миташова, К.Я. Кушнир. – М.: МГУИЭ, 2009. – 11 с.

40. Гринин, А.С. Промышленные и бытовые отходы: Хранение, утилизация, переработка / А.С. Гринин, В.Н. Новиков. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 2002. – 336 с.

41. Гумарова, Ж.Ж. Эколого-гигиеническая опасность химического загрязнения твердых бытовых отходов / Ж.Ж. Гумарова // Гигиена и санитария. – 2006. – № 2. – С. 22–25.

42. Гусев, В.А. Возможности использования гис-технологий и картографическая визуализация в решении проблем утилизации / В.А. Гусев, А.В. Молочко // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. – 2015. – № 2. – С. 5–9.

43. Грехова, И.В. Применение осадка сточных вод в составе грунтов / И.В. Грехова, В.Ю. Грехова, А.А. Михайловская, Н.Ю. Приветкина // Вестник КемГУ. – 2015. – №1–2 (61). – С. 16–19.

44. Грибанова, Л.П. Геоэкологические исследования на Саларьевском полигоне твердых бытовых и промышленных отходов / Л.П. Грибанова, А.А. Зрянин // Экология и промышленность России. – 1997. – Июнь. – С.8–10.

45. Девяткин, В. Обращение с отходами: отечественный и зарубежный опыт / В. Девяткин // Экологический вестник России. – 2009. – № 2. – С. 37–40.

46. Демина, Л.А. Теплоэлектростанции на твердых бытовых отходах (европейский опыт) / Л.А. Демина // Энергия: экономика, технология, экология. – 2005. – № 5. – С. 23–29.

47. Дрейер, А.А. Твердые промышленные и бытовые отходы, их свойства и переработка / А.А. Дрейер, А.Н. Сачков, К.С. Никольский. – М.: Проспект, 1997. – 230 с.
48. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов). / 6-е изд-е. М.: Альянс, 2011. -352 с.
49. Дрозд, Г.Я. Осадки сточных вод как удобрение для сельского хозяйства / Г.Я. Дрозд, Н.И. Зотов, В.Н. Маслак // ВСТ. – 2001. – № 12. – С. 33–35.
50. Евдокимов, С.В. Обеспечение экологической безопасности при переработке твердых бытовых отходов / С.В. Евдокимов, А.А. Орлова, Г.Ф. Дубинина // Экология и промышленность России. – 2015. – № 11. – С. 36–40.
51. Евилевич, А.З. Утилизация осадков сточных вод / А.З. Евилевич, М.А. Евилевич. – Л.: Стройиздат, 1988. – 248 с.
52. Жиленков, В.Н. Опыт исследования фильтрационных и геомеханических свойств твердых бытовых отходов / В.Н. Жиленков // Геоэкология. – 2002. – № 3. – С. 275–280.
53. Жилинская, Я.А. Рекультивация полигонов захоронения твердых бытовых отходов продуктами механо-биологической переработки отходов: автореф. дис. ...канд. техн. наук : 03.00.16 / Жилинская Яна Андреевна. – Пермь, 2010. – 21 с.
54. Жмур, Н.С. Государственный и производственный контроль токсичности вод методами биотестирования в России / Н.С. Жмур. – М.: Международный Дом Сотрудничества, 1997. – 117 с.
55. Журкович, В.В. Отходы: Научное и учебно-методическое справочное пособие / В.В. Журкович, А.И. Потапов – СПб.: Гуманистика, 2001. – 580 с.
56. Застенский, Л.С. Эколого-агротехнические основы облесения рекультивируемых карьеров : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.03.01. – Л., 1983. – 39 с.
57. Захаров, Н.Г. Эффективность использования осадков сточных вод в качестве удобрения сельскохозяйственных культур в зернопропашном севообороте

: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Захаров Николай Григорьевич. – Ульяновск, 2004. – 17 с.

58. Зеньков, И.В. Технология формирования почвенного слоя в рекультивации земельных участков по промышленными и твердыми бытовыми отходами / И.В. Зеньков, А.В. Мордвинов, А.В. Волков, О.В. Сибирякова, Е.В. Кирюшина, В.Н. Вокин // Экология и промышленность России. – 2013. – Март. – С. 40–44.

59. Зотов, Н.И. К вопросу об использовании осадков бытовых сточных вод в сельском хозяйстве / Н.И. Зотов, С.Р. Суслов // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2010. – № 3 (83). – С. 214–221.

60. Иванова, Н.В. Утилизация – проблема или реальность? (На примере услуг ЖКХ) [Электронный ресурс] / Н.В. Иванова, В.М. Сафронов, Н.Ю. Иванова // Отходы и ресурсы. – 2016. – № 1. – Режим доступа: <https://resources.today/PDF/04RRO116.pdf>

61. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов: утв. Минстроем РФ 02.11.96. – 1996. – 39 с.

62. Ильиных, Г.В. Использование результатов определения морфологического состава твердых бытовых отходов для обоснования системы обращения с отходами / Г.В. Ильиных // Вестник ПНИПУ. Урбанистика. – 2012. – № 1. – С. 8.

63. Каниськин, М.А. Нормирование содержания фосфогипса в почвогрунте по реакциям биотест-систем разных трофических уровней / М.А. Каниськин // Экологическое нормирование, сертификация и паспортизация почв как научная основа рационального землепользования: материалы межд. научно-практической конференции. – М.: МаксПресс, 2010. – С. 86–89.

64. Канунникова, Т.В. Агрэкологическое использование ОСВ в качестве удобрений в Центральном Черноземье : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 11.01.11 / Канунникова Татьяна Владимировна. – Курск, 2000. – 21 с.



65. Капелькина, Л.П. Рекультивация нарушенных земель в Ленинградской области / Л.П. Капелькина // Региональная экология. – 2011. – № 3-4 (32). – С. 105–110.
66. Капелькина, Л.П. Учет факторов и условий при выборе направлений рекультивации земель на полигонах ТБО / Л.П. Капелькина // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства: IV-я Международная научная экологическая конференция. – Краснодар, 2015. – С. 422–426.
67. Капелькина, Л.П. Исследование загрязненных почв методами биотестирования / Л.П. Капелькина, Л.Г. Бакина, Т.В. Бардина, М.В. Чугунова, Н.В. Маячкина // Современные проблемы загрязнения почв: Тез. Международной научной конференции, Москва, 24–28 мая 2004 г. – М.: МГУ, 2004. – С. 353–355.
68. Капелькина, Л.П. Использование осадка сточных вод для рекультивации земель на полигонах ТБО / Л.П. Капелькина, Ю.И. Скорик, Л.С. Венцюлис // Экология и промышленность России. – 2009. – № 9. – С. 15.
69. Карякина, С.Д. Агроэкологическая эффективность аэробного компостирования муниципальных и промышленных осадков сточных вод при производстве органических и органоминеральных удобрений / С.Д. Карякина, А.В. Карякин, В.А. Касатиков // Проблемы агрохимии и экологии. – 2014. – № 3. – С. 14–18.
70. Касатиков, В.А. Использование осадка сточных вод и компостов твердых бытовых отходов / В.А. Касатиков // Химизация сельского хозяйства. – 1989. – № 11. – С. 39–46.
71. Касатиков, В.А. Агроэкологические основы применения осадков сточных вод на удобрение : автореф. дис. ...д-ра с.-х. наук : 03.00.16 / Касатиков Виктор Александрович. – М., 1990. – 60 с.
72. Касатиков, В.А. Рекомендации по применению осадков сточных вод с иловых площадок в качестве удобрения / В.А. Касатиков, С.М. Касатикова, Л.Л. Гольдфарб. – Владимир, 1984. – 23 с.

73. Кинебас, А.К. Обезвоживание осадков сточных вод на очистных сооружениях Санкт-Петербурга / А.К. Кинебас, Б.В. Васильев, Ж.Л. Григорьева, С.Е. Маскалёва, Г.А. Панкова, О.Н. Рублевская, Г.Н. Рафалович // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. – № 9. – С. 54–59.

74. Клековкин, С.Ю. Опыт применения осадков сточных вод в целях рекультивации / С.Ю. Клековкин // Рекультивация нарушенных земель в Сибири. – 2006. – Вып. 2. – С. 40–42.

75. Климова, Н.В. Осадки сточных вод как нетрадиционные удобрения / Н.В. Климова, Т.В. Починова // Аграрная наука. – 2009. – № 1. – С. 13–16.

76. Кориновская, О.Н. Численность и видовой состав сообществ микромицетов в агроценозах при внесении органоминеральных удобрений на основе осадков сточных вод / О.Н. Кориновская, В.Н. Гришко, С.М. Крамарёв // Проблемы агрохимии и экологии. – 2015. – № 3. – С. 54–59.

77. Королев, В.А. Эколого-геологический мониторинг полигонов твердых отходов / В.А. Королев, Д.Б. Неклюдов, Б.А. Новаковский, Н.И. Тульская // Экология и промышленность России. – 2001. – Вып.7. – С. 39–43.

78. Корчевская, Ю.В. Обезвреживание отходов методом экологической биотехнологии / Ю.В. Корчевская, А.А. Кадысева, Г.А. Горелкина, А.А. Маджугина, И.А. Троценко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 3 (137). – С. 170–173.

79. Котович, А.А. Оценка потенциального плодородия грунтов Уральского региона для рекультивации нарушенных земель / А.А. Котович, О.М. Гуман // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2015. – № 3. – С. 65–74.

80. Краева, Н.К. Оценка возможной токсичности нетрадиционных органических удобрений и способы ее снижения / Н.К. Краева, О.В. Малюта, А.Р. Григорьева // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2010. – № 2. – С. 87–92.

81. Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды: утв. Приказом МПР № 511 от 15.06.2001 г.

82. Кудеяров, В.Н. Цикл азота в почве и эффективность удобрений / В.Н. Кудеяров. – М.: Наука, 1989. – 214 с.
83. Куликова, А.Х. Проблемы утилизации осадков сточных вод (ОСВ) в качестве удобрения сельскохозяйственных культур / А.Х. Куликова, Н.Г. Захаров, И.А. Вандышев, С.В. Шайкин, А.В. Карпов // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2007. – №1 (4) – С. 8–18.
84. Кусакина, Н.А. Экологические аспекты использования осадка сточных вод в качестве удобрения в условиях Новосибирской области : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Кусакина Наталья Алексеевна. – Новосибирск, 2004. – 142 с.
85. Кусраева, О.С. Совершенствование управления системой рециклинга отходов : автореф. дис. ... канд. экон. наук : 05.13.10 / Кусраева Олеся Славиковна. – СПб, 2009. – 19 с.
86. Курачев, В.М. Классификация почв техногенных ландшафтов / В.М. Курачев, В.А. Андроханов // Сиб. экол. журн. – 2002. – № 3. – С. 255–261.
87. Ладонин, В.Ф. Стратегия использования осадков сточных вод и компостов на их основе в агрикультуре. / В.Ф. Ладонин, Г.Е. Мерзлая, Р.А. Афанасьев; под редакцией Н.З. Милащенко. – М.: Агроконсалт, 2002. – 140 с.
88. Лебедев, В.Н. Безотходная экологически чистая технология сортировки и переработки твердых бытовых отходов (ТБО) / В.Н. Лебедев, М.К. Ловецкий, В.С. Гишко, Х.Х. Кушков // Сб. докладов 4-го междунар. конгресса по управлению отходами, 2005.
89. Локтионова, Е.Г. Роль биотестирования в контроле качества природных вод по обобщенным показателям / Е.Г. Локтионова, Г.В. Жижимова, Ю.М. Дедков // Экоаналитика-2009: тезисы Всеросс. научн. конф. – Йошкар-Ола, 2009. – С.132–133.
90. Мазуркин, П.М. Прогнозирование урожайности сена от улучшенных сенокосов / П.М. Мазуркин, С.И. Михайлова // Успехи современного естествознания. – 2010. – № 11. – С. 37–46.

91. Майорова, О.В. Влияние полигонов ТБО на окружающую среду / О.В. Майорова // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 1. – С. 71–74.
92. Макеева, Н.А. Обзор методов ускоренной рекультивации нарушенных угледобычей земель / Н.А. Макеева, О.А. Неверова // Вестник КрасГАУ. – 2016. – № 8 (119). – С. 77–86.
93. Максимова, С.В. Экологические основы освоения территорий закрытых свалок и полигонов захоронения твердых бытовых отходов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 03.00.16 / Максимова Светлана Валентиновна. – Пермь, 2004. – 47 с.
94. Максимова, С.В. Дегазация полигона твердых бытовых отходов / С.В. Максимова, И.С. Глушанкова // Экология и промышленность России. – 2003. – Октябрь. – С. 41–43.
95. Малюхин, Д.М. Агроэкологическая оценка органогенных субстратов, используемых при рекультивации полигона ТБО / Д.М. Малюхин, Л.Г. Бакина, Е.В. Орлова, Е.Е. Орлова // Агрехимия. – 2016. – № 10. – С. 80–88.
96. Малюхин, Д.М. Оценка экотоксичности новых органогенных субстратов, используемых при рекультивации полигона ТБО / Д.М. Малюхин, В.И. Бардина, Л.Г. Бакина // Известия СПбЛТА. – 2014. – Вып.206. – С. 55–64.
97. Малюхин, Д.М. Экспериментальное задержание многолетними травами грунта техногенного из твердых бытовых/коммунальных отходов используемого при рекультивации полигонов в качестве плодородного грунта / Д.М. Малюхин, В.А. Поздняков, Л.Г. Бакина, Т.Б. Нагиев, А.В. Поздняков, С.И. Лоскутов, Я.В. Пухальский // Биосфера. – 2018. – Т.10, №3. –С. 1–4.
98. Мариненко, Е.Е. Тенденции развития систем сбора и обработки дренажных вод и метансодержащего газа на полигонах твердых бытовых отходов: Отечественный и зарубежный опыт / Е.Е. Мариненко, Ю.Л. Беяева, Г.П. Комина. – СПб.: Недра, 2001. – 160 с.
99. Махнев, А.К. Итоги исследований по проблемам создания защитных и зеленых насаждений в условиях медеплавильных заводов на Урале / А.К. Махнев,

С.А. Мамаев // Проблемы создания защитных насаждений в условиях техногенных ландшафтов. – 1979. – С. 3–47.

100. Махнев, А.К. Ландшафтно-экологические и популяционные аспекты стратегии восстановления нарушенных земель / А.К. Махнев, Н.Е. Махнева // Сиб. экол. журн. – 2010. – № 3. – С. 452–459.

101. Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно загрязненных почв. ФР.1.39.2006.02264. – СПб, 2009. – 19 с.

102. Мирный, А.Н. Инженерные основы аэробного биотермического компостирования твердых бытовых отходов : автореф. дис. ...д-ра техн. наук : 05.23.04 / А.Н. Мирный – М., 1995. – 44 с.

103. Мосина, Л.В, Микробиологическая диагностика состояния системы почва-растения на сенокосах при внесении компостов на основе осадков сточных вод / Л.В. Мосина, Г.Е. Мерзлая // Известия ТСХА. – 2010. – Вып. 1. – С. 18–27.

104. Мерзлая, Г.Е. Эффективность органоминерального гранулированного удобрения на основе осадков сточных вод / Г.Е. Мерзлая, Р.А. Афанасьев // Перспективы и проблемы размещения отходов производства и потребления в агроэкосистемах: материалы межд. научно-практической конференции. – Нижегородская ГСХА, 2014. – С. 98–101.

105. МР по проведению инженерно-экологических изысканий для целей рекультивации существующих свалок и проектирования вновь организуемых полигонов захоронения ТБО на территории Московской области: утв. ГК по охране окружающей среды Моск.обл. 28.04.1998 г.

106. МР по изучению эффективности нетрадиционных органических и органоминеральных удобрений. – М.: Агроконсалт, 2000. – 40 с.

107. Мухортов, Д.И. Оптимизация параметров вермикомпостирования осадков сточных вод, различающихся по токсичности / Д.И. Мухортов, В.В. Ускова // Вестник Марийского гос. техн. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2008. – №2. – С. 60–71.

108. Мухортов, Д.И. Утилизация органических отходов при искусственном лесовосстановлении / Д.И. Мухортов, Е.М. Романов // Вестник Поволжского гос. техн. ун-та. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2013. – № 3 (19). – С. 20–35.
109. Назарова, Г.В. К вопросу использования отходов в рекультивации нарушенных земель / Г.В. Назарова, В.В. Иванов, Л.Д. Гаврильева, С.И. Миронова // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 11–1. – С. 135–136.
110. Негуляева, Е.Ю. Оптимизация системы обращения с твердыми коммунальными отходами как фактор безопасности геоэкологической среды : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.36 / Негуляева Екатерина Юрьевна. – СПб, 2005. – 151 с.
111. Недвижимость и строительство Петербурга от 05.12.2016. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nsp.ru/news/8797-musor-poschitali>.
112. Нефедов, Б.К. Использование осадков сточных вод в качестве органоминерального удобрения / Б.К. Нефедов, В.В. Ермилов, В.С. Поляков // Экология и промышленность России. – 2007. – № 11. – С. 42–45.
113. Никовская, Г.Н. Биотехнология утилизации осадков муниципальных сточных вод / Г.Н. Никовская, К.В. Калиниченко // *Biotechnologia Acta*. – 2014. – № 3. – С. 21–32.
114. Нисифирова, О.С. Информирование населения, как основа развития системы обращения с твердыми коммунальными отходами / О.С. Нисифирова, Е.А. Примак // Метеорологический вестник. – 2017. – Т.9, №2. – С. 137–141.
115. Обработка осадка сточных вод: полезный опыт и практические советы – предисловие: проект по городскому сокращению эвтрофикации [Электронный ресурс]. – PURE, 2012. – 125 с. Режим доступа: [http://www.purebalticsea.eu/index.php/gpsm:good\\_practices:ru#ch\\_8](http://www.purebalticsea.eu/index.php/gpsm:good_practices:ru#ch_8).
116. Оляницкая, Л.Г. Род 12. Канатник – *Abutilon Mill* / Л.Г. Оляницкая, Н.Н. Цвелев // Флора Восточной Европы. – 1996. – С. 252–253.
117. Опекунова, М.Г. Применение биогеохимического подхода для оценки экологического состояния в городе Сибай (Башкортостан) / М.Г. Опекунова, А.Ю. Опекунов, С.Ю. Кукушкин, Э.Э. Папаян, М.М. Ошейко // 9-я международная

научно-практическая конференция экологические проблемы промышленных городов. – 2019. – С. 183–187.

118. Опекунова, М.Г. Влияние природных и антропогенных факторов на химический состав растений севера западной Сибири/ М.Г. Опекунова, А.Ю. Опекунов, С.Ю. Кукушкин, И.Ю. Арестов // Труды XI Международной биогеохимической школы, посвященной 120-летию со дня рождения Виктора Владиславовича Ковальского. – 2019. – С. 196–200.

119. Орлова, О.В. Гуминовые вещества компостов из твердых бытовых отходов как перспективный стимулятор роста растений / О.В. Орлова, И.А. Архипченко // Российская сельскохозяйственная наука. – 2009. – № 3. – С. 35–38.

120. Орлова, О.В. Использование биодобавок для получения почвогрунтов из ТБО / О.В. Орлова, Е.Д. Гущина, В.А. Арсентьев, М.Е. Шibaева, И.А. Архипченко // Экология и промышленность России. – 2005. – № 12. – С. 4–7.

121. Орлова, О.В. Получение почвогрунтов на основе компоста из ТБО / О.В. Орлова, Е.Д. Гущина, В.А. Арсентьев, Д.О. Колесник, И.А. Архипченко // Экология и промышленность России. – 2007. – № 12. – С. 14–16.

122. Орлова, О.В. Ускорение дозревания компоста из ТБО при введении активирующих биоорганических добавок / О.В. Орлова, Н.А. Петухова, И.А. Архипченко // Экология и промышленность России. – 2008. – № 10. – С. 38–40.

123. Пахненко, Е.П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения / Е.П. Пахненко. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 311 с.

124. Пескарев, А.А. Влияние удобрений на основе осадков сточных вод на загрязнение почвы тяжелыми металлами / А.А. Пескарев // Наука и современность. – 2010. – № 5–1. – С. 35–39.

125. ПНД Ф Т 16.3.16-10 Методика определения токсичности отходов производства и потребления экспресс-методом с применением прибора «Биотестер-2». – М., 2015 – 8 с.

126. Поздняк, С.С. Содержание некоторых тяжелых металлов в растительности полевых и луговых агрофитоценозов в условиях техногенного

загрязнения почвенного покрова / С.С. Поздняк // Вестник Томск. гос. ун-та. Сер. Биология. – 2011. – № 1 (13). – С.123–136.

127. Подлипский, И.И. Полигоны бытовых отходов как объекты геологического исследования / И.И. Подлипский // Вестник Санкт-Петербург. ун-та. Серия 7. Геология. География. – 2010. – № 1. – С. 15–31.

128. Покровская, С.Ф. Использование осадка городских сточных вод в сельском хозяйстве / С.Ф. Покровская, В.А. Касатиков. – М.: ВНИИТЭИ Агропром, 1987. – 87 с.

129. Починова, Т.В. Экологическая оценка сточных вод г. Димитровграда и эффективность почвенного размещения их осадков в качестве удобрения : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Т.В. Починова. – Ульяновск, 2009. – 12 с.

130. Пояркова, А.И. Род 11. Никандра – *Nicandra Adans.* / А.И. Пояркова // Флора европейской части СССР. – 1981. – С. 200–201.

131. Пронько, Н.А. О восстановлении нарушенных свалками и полигонами земель саратовской области / Н.А. Пронько, Д.А. Крашенинников, В.В. Афонин // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 2. – С. 20–23.

132. Просянных, Е.В. Перспективы производства и применения супрамолекулярных веществ в сельском хозяйстве / Е.В. Просянных // Вестник Брянской гос. сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 5. – С. 30–35.

133. Пугин, К.Г. Материал для рекультивации полигонов ТБО и карьеров на основе отходов феррованадиевого производства / К.Г. Пугин, О.В. Ивенских // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10–9. – С. 1938–1941.

134. Пыриков, А.Н. Инженерная защита окружающей среды и экологическая безопасность Российской Федерации. Книга 1. Государство и экология. Книга 2. Вторичные ресурсы. Природоохранное законодательство / А.Н. Пыриков, П.И. Черноусов, Н.Н. Мартынов – М.: ООО «Центр инновационных технологий» (ЦИТ), 2012. – 192 с.

135. Разработка способов рационального использования продуктов аэробной ферментации твердых коммунальных отходов: отчет о НИР / Архипченко



И.А. – СПб: Санкт-Петербургский НИИ эпидемиологии и микробиологии имени Пастера, 2007. – 86 с.

136. Рекомендации по рекультивации отработанных золошлакоотвалов тепловых электростанций : РД 34.02.202-95: утв. Департаментом эксплуатации энергосистем и электрических станций РАО "ЕЭС России" 25.12.95. – М.: ОРГРЭС, 1997. – 16 с.

137. Ресурсы органических удобрений в сельском хозяйстве России (информационно-аналитический справочник). – Владимир: ГНУ ВНИПТИОУ РАСХН, 2006. – 200 с.

138. Рециклинг отходов: материалы XVI международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург 03.12.15 - 04.12.15. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ecodelo.org/\\_recikling\\_othod](https://ecodelo.org/_recikling_othod) .

139. Романов, Е.М. Мелиорация почв лесных питомников с применением нетрадиционных органических удобрений / Романов Е.М., Мухортов Д.И., Нуреева Т.В. // Вестник Поволжского гос. техн. ун-та. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2013. – № 2 (18). – С. 59–73.

140. Ромашкевич, И.Ф. Эффективность осадков сточных вод и компостированного городского мусора по данным полевых и вегетационных опытов ВИУА / И.Ф. Ромашкевич // Тез. докл. Всес. науч.-техн. совещания по рациональному использованию местных удобрений, отходов промышленности и городского хозяйства для нужд сельского хозяйства. – М., 1964. – С. 121–125.

141. Российская Федерация. Законы. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: федер. закон: [принят Гос. Думой 20 июня 1997 г.]. – N 116-ФЗ (ред. от 13.07.2015).

142. Рыжакова, М.Г. Геоэкологические аспекты обращения с ТБО, содержащими опасные компоненты / М.Г. Рыжакова, В.И. Масликов // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 8 (23). – С. 48–66.

143. СанПиН 2.1.7.573-96 Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 54 с.

144. Селивановская, С.Ю. Влияние осадков сточных вод, содержащих металлы, на микробные сообщества серой лесной почвы / С.Ю. Селивановская, С.Н. Киямова, В.З. Латыпова, Ф.К. Алимова // Почвоведение. – 2002. – № 5. – С. 588–594.

145. Селивановская, С.Ю. Оценка эффективности применения нетрадиционного удобрения на основе осадков сточных вод / С.Ю. Селивановская, И.Н. Курицин, А.А. Савельев // Агрехимия. – 2007. – № 5. – С. 68–75.  
Селивановская

146. Серeda, Т.Г. Инженерные решения по биологической рекультивации полигонов твердых бытовых отходов / Т.Г. Серeda // Экология и промышленность России. – 2006. – № 8. – С. 13–15.

147. Сеницына, С.Г. Биотехнологические методы утилизации твердых бытовых отходов / С.Г. Сеницына, О.В. Решетникова // Актуальные вопросы теории и практики современной биотехнологии: материалы всероссийской научно-практической конференции. – СПб, 2015. – С. 105–112.

148. Скворцов, Л.С. Использование компоста из бытовых отходов в качестве удобрения и биотоплива / Л.С. Скворцов, А.М. Кузьменкова // Агрехимия. – 1975. – № 6. – С.145–151.

149. СП 2.1.7.1038-01 Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2001. – 12 с.

150. Стамм, В. Химия промышленных сточных вод (пер.с англ.) / В. Стамм, Дж.Г. Нэнколлас, М. Томсон; под ред. А. Рубина А. – М., 1983. –360 с.

151. Степаненко, Е.Е. Исследование химического состава фильтрационных вод полигона твердых бытовых отходов / Е.Е. Степаненко, О.А. Поспелова, Т.Г. Зеленская // Изв. Самар. науч. центра Рос. акад. наук. –2009. – №1 (3). – С. 525–527.

152. Степкина, Ю.А. Совершенствование технологий и систем обработки осадка при очистке сточных вод, получение и апробация комплексного удобрения : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 06.01.02 / Степкина Юлия Андреевна. – Волгоград, 2009. – 22 с.

153. Стом, Д.И. Бактериальная люминесценция и биотестирование / Д.И. Стом, Т.А. Гиль, А.Э. Балаян. – Иркутск: Иркутский ГУ, 1993. – 152 с.
154. Таран, Т.В. Продуктивность однолетних трав на фоне действия и последствия осадка городских сточных вод / Т.В. Таран, Н.М. Майдебура // Вестник АПК Верхневолжья. – 2009. – № 1 (5). – С. 3–6.
155. Тарчевский, В.В. Закономерности формирования фитоценозов на промышленных отвалах : автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Тарчевский Виталий Владиславович. – Томск, 1967. – 36 с.
156. Тарчевский, В.В. Взаимоотношения растений как основа формирования фитоценозов на промышленных отвалах. / В.В. Тарчевский // Растения и промышленная среда. – 1970. – Вып. 2. – С. 3–64.
157. Теплякова, Т.Е. Формирование экологически безопасной экосистемы при рекультивации полигона ТБО г. Гатчины: начальная стадия биологического этапа / Т.Е. Теплякова, Л.Г. Бакина, Д.М. Малюхин // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2014. – Вып. 208. – С. 6–21.
158. Теплякова, Т.Е. Особенности формирования растительного покрова на новых видах органометаллических субстратов при рекультивации полигона твердых бытовых отходов / Т.Е. Теплякова, Д.М. Малюхин, Л.Г. Бакина // Биосфера. – 2014. – № 1. – С. 118–129.
159. Терехова, В.А. Биоиндикация и биотестирование в экологическом контроле / В.А. Терехова // Использование и охрана природных ресурсов в России. Информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – №1 (91). – С. 88–90.
160. Требования к качеству сточных вод и их осадков, используемых для орошения и удобрения. – М.: Минсельхозпрод РФ, 1995. – 47 с.
161. ТСН 11-301-2005 Положение о порядке работ по рекультивации несанкционированных свалок в г. Москве. – М., 2005. – 19 с.
162. ТСН 30-308-2002 Территориальные строительные нормы Московской области. – М., 2002 – 20 с.

163. Убугунов, Л.Л. Повышение агрохимической эффективности осадков городских сточных вод / Л.Л. Убугунов, А.Б. Бадмаев, С.Г. Дорошкевич. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2005. – 176 с.

164. Федеральный классификационный каталог отходов, утвержденный приказом МПР России от 02.12.2002 №786, зарег. Минюстом России 09.01.2003 № 4107.

165. Фомченков, В.М. Биотестирование интегральной токсичности загрязненных вод и почв / В.М. Фомченков, В.П. Холоденко, И.А. Ирхина, В.Н. Петухов, О.А. Байдусь. – М.: НИИЭМП, 1996. – 31с.

166. ФР.1.39.2007.03222 Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. – М.: Акварос, 2007. – 51 с.

167. Флёров, Б.А. Биотестирование: термины, задачи, перспективы / Б.А. Флёров // Теоретические основы биотестирования. – 1983. – С.13–20.

168. Хабарова, Т.В. Экологическая оценка применения осадка сточных вод и вермикомпостов на агрозёме торфяно-минеральном : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / Хабарова Татьяна Валерьевна. – Рязань, 2015. – 134 с.

169. Хомяков, Д.М. Современные возможности утилизации и использования осадков сточных вод для восстановления плодородия земель сельскохозяйственного назначения / Д.М. Хомяков // Земледелие. – 2008. – № 8. – С. 62–65.

170. Цыганов, Д.Н. Экоморфы флоры хвойно-широколиственных лесов / Д.Н. Цыганов – М.: Наука, 1976. – 60 с.

171. Чайка, О.В. Проблемы и эколого-экономическая оценка переработки и утилизации твердых бытовых отходов / О.В. Чайка, И.И. Сороколет // Наука XXI века: актуальные направления развития. – 2016. – № 1-1. – С. 586–588.

172. Чемаева, О.В. Экологическая оценка осадков сточных вод и использование их в качестве удобрения : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Чемаева Ольга Владимировна. – Ульяновск, 2003. – 21 с.

173. Чемерис, М.С. Экологическая безопасность применения осадков сточных вод в качестве удобрения при выращивании пшеницы / М.С. Чемерис // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2006. – №6. – С. 34–36.

174. Чемерис, М.С. Комплексная агроэкологическая оценка применения нетрадиционных удобрений / М.С. Чемерис, Н.А. Кусакина, Л.А. Осинцева // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. – 2015. – № 3 (36). – С. 74–81.

175. Шаимова, А.М. Получение свалочного газа – экономия первичных природных энергоресурсов / А.М. Шаимова, Л.А. Насырова, Г.Г. Ягафарова, Р.Р. Фасхутдинов // Нефтегазопереработка и нефтехимия: тезисы Международной научно – практической конференции. – Уфа, 2006. –С. 246–248.

176. Шевчук, В. Я. Биотехнология получения органоминеральных удобрений из вторичного сырья / В. Я. Шевчук, К.А. Чеботько, В.Н. Разгуляев. – Киев: Знання, 2001. – 236 с.

177. Шибалова, Г.В. Использование геоинформационных технологий для мониторинга мест складирования отходов / Г.В. Шибалова // Природообустройство. – 2015. – № 3. – С. 22–26.

178. Шубов, Л.Я. Концепция управления твердыми бытовыми отходами. / Л.Я. Шубов, А.К. Голубин, В.В. Девяткин, С.В. Погадаев. – М., 2000. – 71 с.

179. Шубов, Л.Я. Технология твердых бытовых отходов / Л.Я. Шубов, М.Е. Ставровский, А.В. Олейник. – М.: ГОУВПО «МГУС», 2011. – 400 с.

180. Яборов, В.Т. Самозаращение техногенных отвалов Уруша-Ольдойского золотороссыпного узла в Приамурье / В.Т. Яборов // Лесной журнал. – 2011. – № 5. – С. 41–46.

181. Ahalya, N. Biosorption of heavy metals / N. Ahalya, T.V. Ramachandra, R.D. Kanamadi // Environ. – 2003. – 7(4) – P. 71–79.

182. Ahn, Y.-H. Municipal sludge management and disposal in South Korea: Status and a new sustainable approach. / Y.-H. Ahn, H.-C. Choi // Water Sci. Technol. – 2004. – 50(9). – P. 245–253.

183. Aksu, Z. Investigation of biosorption of Cu (II), Ni (II) and Cr (VI) ions to activated sludge bacteria / Z. Aksu, T. Kutsal, S. Gun, N. Haciosmanoglu, M. Gholaminejad // *Environ. Technol.* – 1991. – 12(10). – P. 915–921.
184. Berbecea, A. Agricultural use of sewage sludge pros and cons / A. Berbecea, I. Radulov, F. Sala // *Agricult.* – 2008. – 40(2). – P. 15–20.
185. Boer, E. Handbook for municipal waste prognosis and sustainability assessment of waste management systems / E. Boer, J. Boer, J. Jager. – Stuttgart: Ibidem Verlag, 2005. – 306 p.
186. Bonhomme, S. Environmental biodegradation of polyethylene / S. Bonhomme // *Polymer Degradation and Stability.* – 2003. – V.81. – P. 441–452.
187. Boyd, S. A. Humic and fulvic acid fractions from sewage sludges and sludge-amended soils. / S.A. Boyd, L.E. Sommers // *Humic substances in soil and crop sciences: Selected readings.* P. MacCarthy, C.E. Clapp, R.L. Malcolm, P.R. Bloom (Ed.). – ASA, Madison, WI.1990. – P. 203–220.
188. Chang, A. C. Developing human health-related chemical guidelines for reclaimed wastewater and sewage sludge applications in agriculture / A.C. Chang, A.L. Page. – Geneva: World Health Organization, 1995. – 114 p.
189. Charles, H. K. Use of Incineration MSW Ash: A Review / H.K. Charles, W.M. Alvin, J.P. Barford, G. McKay // *Sustainability.* – 2010. – № 2. – P. 1943–1968.
190. Chefetz, B. Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste / B. Chefetz, P. Hatcher, Y. Hadar, Y. Chen // *Journal of Environmental Quality.* – 1996. – Vol. 25. – №4. – P. 776–785.
191. Chew, Y.L. Environmental impact of recycling digested food waste as a fertiliser in agriculture – A case study / Y.L. Chew // *Resources, Conservation and Recycling.* – 2015. – V.95. – P. 1–14.
192. Clark, P. Can carthworms provide the answer to the sludge treatment problem? / P. Clark // *Water and Waste treat.* – 1998. – № 2. – P. 20–23.
193. Constantinescu, L. Fertilizing agricultural fields with the sludge resulted from sewage water treatment stations / L. Constantinescu // *Agricult.* – 2008. – 40(2). – P. 41–44.

194. Das, K.C. Stability and quality of municipal solid waste compost from a landfill aerobic bioreduction process / K.C. Das, M.C. Smith, D.K. Gattie, D.D. Boothe // *Advances in Environmental Research*. – 2002. – V.6. – № 4. – P. 401–409.

195. Earle, C.D.A. Mercury in a municipal solid waste landfill. / C.D.A. Earle, R.D. Rhue, J.F.K. Earle // *Waste Management & Research*. – 1999. – № 17. – P. 305–312.

196. Environmental indicator report 2012 ecosystem resilience and resource efficiency in a green economy in Europe. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012. – 151 p.

197. Fiore, M. F. Cell composition and metal tolerance in cyanobacteria / M. F. Fiore, J. T. Trevors // *BioMetals*. – 1994. – 7(2). – P. 83–103.

198. Galitskova, Y.M. Misure di protezione ambientale durante la costruzione nelle aree urbane / Y.M. Galitskova, S.B. Shcherbitskaya // *Italian Science Review*. – 2014. – № 4(13). – P.122–124.

199. Gentil, E. Global warming factor of municipal solid waste management in Europe / E. Gentil, J. Clavreul, T.H. Christensen // *Waste Management & Research*. – 2009. – № 27. – P. 850–860.

200. Gottesfeld, P. Review: Lead Exposure in Battery Manufacturing and Recycling in Developing Countries and Among Children in Nearby Communities / P. Gottesfeld, A.K. Pokhrel // *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. – 2011. – № 8 (9). – P. 520–532.

201. Gunse, B. Klärschlammverbrennung bei echst angelaufen / B. Gunse // *Chem.-Ing.-Techn.* – 1995. – № 4. – P. 364–365.

202. Hammami, A. Biosorption of heavy metals by activated sludge and their desorption characteristics / A. Hammami, F. Gonzalez, A. Ballester // *Environ. Manag.* – 2007. – 84(4). – P. 419–426.

203. Hicklenton, P.R. The effectiveness and consistency of source-separated municipal solid waste and bark composts as components of container growing media / P.R. Hicklenton, V. Rodd, P.R. Warman // *Scientia Horti*. – 2001. – V. 91. – P. 365–378.

204. Jaynes, W. F. Biosolids decomposition after surface applications in West Texas / W. F. Jaynes, R. E. Zartman, R. E. Sosebee, D. B. Wester // *Environm. Qual.* – 2003. – 32(5). – P. 1773–1781.
205. Kalinichenko, K. V. Bioextraction of heavy metals from colloidal sludge systems / K. V. Kalinichenko, G.N. Nikovskaya, Z.R. Ulberg // *Colloid. J.* –2012. – 74(5). – P. 553–557.
206. Kalyuzhnyi, S. V. Energy potential of anaerobic digestion of wastes produced in Russia via biogas and microbial fuel cell technologies / S.V. Kalyuzhnyi // *Biotechnologiya.* – 2008. – (3). – P. 3–12.
207. Kaschl, A. The influence of soluble organic matter from municipal solid waste compost on trace metal leaching in calcareous soils / A. Kaschl, V. Romheld, Y. Chen // *Science of the Total Environment.* – 2002 (2). – V.291. –№ (1-3). – P.45–57.
208. Khan, M. Effect of soil on microbial responses to metal contamination / M. Khan, J. Scullion // – *Environ. Pollut.* – 2000. – V. 110. – P. 115–125.
209. Kostarev, S.N. Automated process control of sanitary municipal solid waste landfill / S.N. Kostarev, T.G. Sereda // *World Applied Sciences Journal.* –2013. – V. 22. – P. 64–69.
210. Kulcu, R. Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes / R. Kulcu, O. Yaldiz // *Bioresour. Technol.* – 2004. – V.71. – № 3. – P. 49–57.
211. Ludwing, C. *Municipal Solid Waste Management: strategies and technologies for sustainable solutions* / C. Ludwing. – Berlin: Springer, 2003. – 525 p.
212. Luetzke, K. // *Dioxin-Kolloquium. Mannheim, 5-7 Mai, 1987* // *VDI-Bericht.* – 1987. – № 634. – P. 05–123.
213. *Material resources and waste.* – EEA, Copenhagen, 2012. – 47 p.
214. McClellana, K. R. Pharmaceuticals and personal care products in archived U.S. biosolids from the 2001 EPA National Sewage Sludge Survey / K.R. McClellana, U. Haldena // *Water Res.* – 2010. – 44(2). – P. 658–668.



215. Municipal Solid Waste Landfills : Summary of the Requirements, for the New Source Performance Standards and Emission Guidelines for Municipal Solid Waste Landfills. – US EPA. – 2000. – Vol. 1. – 136 p.
216. Municipal Waste. – Eurostat News Release, 2010. – 3 p.
217. Murthy, S. Biosorption of lead by *Bacillus cereus* isolated from industrial effluents / S. Murthy, G. Bali, S.K. Sarangi // *Brit. Biotechnol. J.* – 2012. – 2(2). – P. 73–84.
218. Narasimhulu, K. Removal of heavy metals from wastewater treatment plant of Niir Warangal by biomass of *Pseudomonas* species / K. Narasimhulu // *Sci. Technol.* – 2012. – 2(2). – P. 41–48.
219. Nezdoyminov, V.I. Migration of heavy metals ions by using urban sewage sludge as fertilizer / V.I. Nezdoyminov, O.A. Chernyshova // *Visnyk Donbaskoi Nacionalnoi Akademii budivnyctvai arkhitectury.* – 2010. – 82(2). – P. 150–157.
220. Nielsen, P.H. Changes in the composition of extracellular polymeric substances in activated sludge during anaerobic storage / P.H. Nielsen, B. Frolund, K. Keiding // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 1996. – 44(6). – P. 823–830.
221. Nikovskaya, G.N. Bioleaching of heavy metals from sludge after biological treatment of municipal effluent / G.N. Nikovskaya, K.V. Kalinichenko // *J. Water Chem. Technol.* – 2013. – 35(2). – P. 80–85.
222. Nikovskaya, G.N. Heavy metals in sludge sediment after biochemical purification of municipal wastewaters / G.N. Nikovskaya, K.V. Kalinichenko, A.V. Legenchuk, Z.R. Ulberg // *J. Water Chem. Technol.* – 2011. – 33(5). – P. 333–338.
223. Nikovskaya, G. N. Colloidochemical processes in the biotechnology of heavy metal removal from the soil / G.N. Nikovskaya, Z.R. Ulberg, L.A. Koval' // *Colloid J.* – 2001. – 63(6). – P. 750–754.
224. Ojeda-Benítez, S. Household hazardous wastes as a potential source of pollution: A generation study / S. Ojeda-Benítez, Q. Aguilar-Virgen, P. Taboada-González, S.E. Cruz-Sotelo // *Waste Manag Res.* – 2013 – December. – P. 1279–1284.

225. Paluszak, Z. Hygienisierung von Klarschlamm aus Tierkörperbeseitigungsanstalten / Z. Paluszak, H. Olszewska, B. Szejnuk // Tierärztliche Umschau. – 2002. – 2. – P. 85–88.
226. Pat. 5229011 (USA). Process for pathogen reduction in waste / Christy R.W., Christy P.G. – Priority 03.11.1992 ; Published 20.07.1993.
227. Pat. 5242601 (USA). Sludge treatment with CaO or CaC<sub>2</sub> and recovery of CaO therefrom / Manchak F., Manchak F., Manchak P. – Priority 06.06.1991 ; Published 07.09.1993.
228. Pavlovic, J. Schlammtrocknung in Gewächshäusern / J. Pavlovic // Galvanotechnik. – 1999. – 90. – № 4. – P. 1156–1157.
229. Peng, B. Separation and Recovery of Cadmium from Acidic Leach Liquors of Spent Ni-Cd Batteries using Molten Paraffin Wax Solvent Extraction / B. Peng, J. Wan, X. Li, Z. Zhang, X. Du, Z. Lei // Separation Science and Technology. – 2012. – № 47 (8). – P. 1255–1261.
230. Pirt, S. Jh. Principles of microbe and cell cultivation / S. Jh. Pirt. – Moscow: Mir, 1978. – 331 p.
231. Rappe, C. Formation of PCDDs and PCDFs by the chlorination of water / C. Rappe, S.E. Swanson, B. Glas // Chemosphere. – 1989. – № 19. – P. 1875–1880.
232. Reinhart, D. R. A Review of Recent Studies On the Sources of Hazardous Compounds Emitted From Solid Waste Landfills / D. R. Reinhart // U.S. Experience Waste Management & Research. – 1993. – № 11. – P. 257–268.
233. Roth, S. Microbiologisch-hygienische Untersuchungen zur Bioabfallkompostierung in Mieten und in Kleinkomposten Hohenheim / S. Roth. – Hohenheim: Institut für Umwelt- und Tierhygiene sowie Tiermedizin mit Tierklinik der Universität Hohenheim, 1994. – 235 p.
234. Salem, S.M. Life Cycle Assessment (LCA) of Municipal Solid Waste Management in the State of Kuwait / S.L. Salem, P. Lettieri // European Journal of Scientific Research. – 2009. – № 3 – P. 395–405.

235. Saruhan, V. The effects of sewage sludge used as fertilizer on agronomic and chemical features of bird's foot trefoil (*Lotus corniculatus* L.) and soil pollution / V. Saruhan, I. Gul, I. Aydin // *Sci. Res. and Ess.* – 2010. – Vol. 5(17). – P. 2567–2573.
236. Schloter, M. Indicators for evaluating soil quality / M. Schloter, O. Dilly, J.C. Munch // *Agricult. Ecosyst. Environ.* – 2003. – V.98. – P. 255–262.
237. Schulz, R. Recycling of municipal and industrial organic wastes in agricultural: Benefits, limitations and means of improvement / R. Schulz, V. Romheld // *Compost Science and plant nutrition.* – 1997. – V.43. Special issue. – P. 1061–1056.
238. Shooner, F. Thermophilic microbial leaching of heavy metals from municipal sludge using indigenous sulphur-oxidizing microbiota / F. Shooner, R.D. Tyagi // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 1996. – 45(3). – P. 440–446.
239. Slack, R.J. Hazardous Components of Household Waste. Critical Reviews / R.J. Slack, J.R. Gronow, N. Voulvoulis // *Environmental Science and Technology.* – 2004. – Vol. 34. – Is. 5. – P. 419–445.
240. Slack, R.J. Household hazardous waste in municipal landfills: contaminants in leachate / R.J. Slack, J.R. Gronow, N. Voulvoulis // *Science of the Total Environment.* – 2005. – № 337. – P. 119–137.
241. Smirnova, G. F. Effect of cultivations on the velocity of active sludge microorganisms adaptation to various / G.F. Smirnova, V.S. Pidgorsky // *Mikrobiol. Zh.* – 2004. – 66(2). – P. 102–107.
242. Soldierer, W. Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss einer thermischen Desinfektion von Flüssigmist auf die Vermehrungsfähigkeit ausgewählter Mikroorganismen / W. Soldierer – Hohenheim: Institut für Umwelt und Tierhygiene sowie Tierhygiene sowie Tiermedizin mit Tierklinik der Universität Hohenheim, 1991. – 141 p.
243. Stegmann, R. New aspects on enhancing biological processes in sanitary landfills / R. Stegmann // *Waste Management Research.* – 1983. – 1. – P. 201–211.
244. Strauch, D. Mikrobielle Untersuchungen zur Hygienisierung von Klarschlamm. 3 Teil: Versuche bei der Mieten- Kompostierung von Stroh mit Faulschlamm / D. Strauch // *GWF.* – 2009. – № 6. – P. 298–301.

245. Subramanian, S. B. Characterization of extracellular polymeric substances (EPS) extracted from both sludge and pure bacterial strains isolated from wastewater sludge for sludge dewatering / S.B. Subramanian, S. Yan, R.D. Tyagi, R.Y. Surampalli // Abstract of Conference, Proceedings on Moving Forward Wastewater Biosolids Sustainability: Technical, Managerial, and Public Synergy. – New Brunswick, Canada, 2007.
246. Tiguia, S.M. Composting of spend pig litter in turner and forced-aerated piles / S.M. Tiguia, N.F.Y. Tam // Environmental Pollution. – 1998. – 99. –P. 329–337.
247. Tsezos, M. Recovery of uranium from biological adsorbents – desorption equilibrium / M. Tsezos // Biotechnol. Bioengin. – 1984. – 26(1). – P. 973–981.
248. Vesilind, P.A. Part I: Sludge production and characterization. Production and regulations. Sludge into biosolids. Processing, disposal and utilization / P.A. Vesilind, L. Spinosa // London: IWA Publishing, 2001. – P. 3–18.
249. Violante, A. Transformation and mobilization of metals, metalloids, and radionuclides by microorganisms / A. Violante, P.M. Huang, G.M. Gadd // Biophysico-Chemical Processes of Heavy Metals and Metalloids in Soil Environments. New Jersey: John Wiley & Sons, 2007. – P. 53–96.
250. Wang, J.Y. Processing dewatered sewage sludge using electrokinetic technology / J.Y. Wang, D.S. Zhang, O. Stabnikova, J.H. Tay // Water Sci. Technol. – 2004. – 50(9). – P. 205–211.
251. Wang, J.Y. Biotechnology of intensive aerobic conversion of sewage sludge and food waste into fertilizer. / J.Y. Wang, O. Stabnikova, S.T. Tay, V. Ivanov, J.H. Tay // Water Sci. Technol. – 2004. – 49(10). – P. 147–154.
252. Ware, A.J. Process for treatment of sewage sludge / A.J. Ware, S.C.P. Love // Application 2276876 (Gr. Brit.). – Priority 24.03.1993. – Published 12.10.1994.
253. Waste to Energy 2015/2016: Technologies, plants, projects, players and backgrounds of the global thermal waste treatment business / 8<sup>th</sup> ed. Ecoprog GmbH. – 2016.
254. Watson, S.W. Reisolation of *Nitrospirabriensis* / S.W. Watson // Arch.Microbiol. – 1971. – Bd.75. – P. 179–188.

255. Watson, S.W. Comparison of the morphology and deoxyribonucleic acid composition of 27 strains of nitrifying bacteria / S.W. Watson, M. Mandel // *J.Bacteriol.* – 1971. – V.197. – № 2. – P. 563–569.
256. Watson, S.W. Characteristics of two marine oxidizing bacteria *Nitrosospina gracilis* nov.gen.nov.sp. and *Nitrococcus mobilis* nov.gen.nov.sp. / S.W. Watson, J.B. Waterbury // *Arch.Microbiol.* – 1971. – Bd. 77. – P. 203–230.
257. Were, F.H. Air and Blood Lead Levels in Lead Acid Battery Recycling and Manufacturing Plants in Kenya / F.H. Were, G.N. Kamau, P.M. Shiundu, G.A. Wafula, C.M. Moturi // *Journal of Occupational and Environmental Hygiene.* – 2012. – № 9 (5). – P. 340–344.
258. Wilson, D. C. Development drivers for waste management / D. C. Wilson // *Waste Management and Research.* – 2007. – № 25. – P.10.
259. Xiao, Y. Continuous thermophilic composting (CTC) for rapid biodegradation and maturation of organic municipal solid waste / Y. Xiao, G.M. Zeng, Z.-H. Yang // *Bioresour. Technol.* – 2009. – V.123. – № 2. – P. 4807–4813.
260. Xu, H. Removal of dissolved copper (II) and zinc (II) by aerobic granular sludge / H. Xu, J.-H. Tay, S.-K. Foo // *Water Sci. Technol.* – 2004. – 50(9). – P. 155–160.
261. Zeng, X. Recycling of Spent Lithium-Ion Battery: A Critical Review / X. Zeng, J. Li, N. Singh // *Environmental Science and Technology.* – 2014. – № 44 (10). – P. 1129–1165.
262. Zhou, L. Soft systems analysis of reverse logistics battery recycling in China / L. Zhou, M.M. Naim, Y. Wang // *International Journal of Logistics Research and Applications: A Leading Journal of Supply Chain Management.* – 2007. – № 10 (1). – P. 57-70.
263. Zykova, I. V. On the possible mechanisms of heavy metals extraction from activated sludge / I.V. Zykova, T.G. Makashova, V.P. Panov // *Ecologicheskaya Khimia.* – 2003. – 12(4). – P. 251–255.