

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

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Санкт-Петербург – 2018

Диссертационная работа выполнена на кафедре общей экологии, анатомии и физиологии растений ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»

**Научный руководитель:**

**Селиховкин Андрей Витимович**  
доктор биологических наук, профессор,  
заведующий кафедрой защиты леса,  
древесиноведения и охотоведения  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский  
государственный лесотехнический  
университет имени С.М. Кирова»

**Официальные оппоненты:**

**Капелькина Людмила Павловна**  
доктор биологических наук,  
ФГБНУ Санкт-Петербургский научно-  
исследовательский центр экологической  
безопасности РАН  
**Примаек Екатерина Алексеевна**  
кандидат географических наук, доцент  
ФГБОУ ВО Российский государственный  
гидрометеорологический университет

**Ведущая организация:**

ФГБНУ «Всероссийский научно-  
исследовательский институт  
сельскохозяйственной микробиологии»

Защита состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г. в \_\_\_\_\_ часов \_\_\_\_\_ минут на заседании диссертационного совета Д 212.197.03 при Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, Санкт-Петербург, пр. Металлистов, д. 3, ауд. в час. мин.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета или на сайте <http://www.rshu.ru/university/dissertations/>

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просьба направлять по адресу: 192007, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Воронежская, 79, учёному секретарю диссертационного совета Д 212.197.03

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 года.  
Телефон для справок: +7 (812) 633-01-82, 372-50-92.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.197.03  
д.т.н., профессор

Е.П. Истомин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** 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; Журкович, Потапов, 2001; Примак, 2017; Венцюлис и др., 2007; Витковская, 2011 Воег, 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 органомными 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 органомных 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 (Орлова и др., 2005; Найман, 2005; Капелькина и др., 2009; Жилинская, 2010 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, Санкт-Петербургский политехнический университет, Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности Российской академии наук, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 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 органомных 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 самозараствания 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.1.10. Разработка научных основ рационального использования и охраны водных, воздушных, земельных, рекреационных, минеральных и энергетических ресурсов Земли, санация и рекультивация земель, ресурсосбережение.

- а также п.1.7, п.1.8, п.1.9.

**Научная новизна.**

1. Впервые выполнена комплексная геоэкологическая оценка использования органогенных субстратов из кофейного жмыха 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 самозаращения на опытных площадках, определены сроки детоксикации и перехода субстрата в экологически безопасное состояние.

4. Впервые выявлены основные закономерности процессов самозаращения 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 самозаращения 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 органогенных 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 13 статьях, опубликованных в научных изданиях РФ, в том числе 5 из них – в журналах из Перечня ВАК, а также в 8 сборниках материалов международных конференций.

**Объем работы.** Диссертация изложена на 168 страницах, состоит из 5 глав, содержит 30 таблиц и 24 рисунка. Список литературы включает 260 наименований, из них 82 на иностранных языках.

**Личный вклад соискателя.** При активном участии автора были сформулированы цели и задачи исследований, а также разработана программа опытно-экспериментальных работ. Под руководством автора осуществлялись работы по закладке опытных участков рекультивации полигона ТКО. Проведен ряд лабораторных модельных экспериментов, систематизированы и интерпретированы экспериментальные данные, сделаны выводы по результатам работы. 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%.

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

В главе рассмотрено состояние проблемы накопления и переработки отходов на общемировом уровне, различные способы переработки ТКО (термическая переработка, рециклинг, компостирование), особенности воздействия полигонов ТКО на окружающую среду, основные этапы проведения рекультивации полигонов ТКО, а также проанализирован накопленный к настоящему времени опыт использования исследуемых органомных субстратов – ОСВ, компостов из ТКО и кофейного жмыха – в качестве рекультивационных плодородных грунтов. Сделан вывод о том, что эффективность и экологическая безопасность применения этих органомных субстратов в поверхностных рекультивационных слоях изучена недостаточно, а данных по формированию фитоценозов и динамике зарастания рекультивированных полигонов ТКО в литературе крайне мало.

## **Глава 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Исследования проводились на полигоне ТКО г. Гатчина, расположенном на расстоянии 500 м. к юго-западу от поселка Ивановка, на территории которого с 1965 г. осуществлялось складирование ТКО. Расчетный срок эксплуатации полигона - 20 лет, площадь - 12 га, однако закрыт он был только в 2000 г., при этом до 2005 г. на эту территорию осуществляли несанкционированный вывоз мусора. К началу проведения работ исследуемый полигон ТКО давно превысил лимит размещения отходов (объем свалочных масс более 4 млн.м<sup>3</sup>). Складирование (в том числе и несанкционированное) ТКО неблагоприятно повлияло на экологическую ситуацию данной территории и СЗЗ. Эти обстоятельства обусловили необходимость разработки проекта и проведения рекультивации.

При проведении рекультивации в качестве плодородного слоя использовали следующие виды органоменных субстратов: кофейный жмых, компост из ТКО и ОСВ.

Кофейный жмых является отходом производства вкусовых продуктов (сублимированного кофе), образовавшимся в результате деятельности предприятия ООО «Крафт Фудс Рус», Ленинградская обл. Компост из ТКО является продуктом переработки коммунальных отходов на заводе МПБО-2, п. Янино Ленинградской обл. ОСВ представляет собой обработанный осадок с иловых площадок, образующийся на канализационных очистных сооружениях МУП «Водоканал», г. Гатчина.

Необходимо отметить, что опыта применения кофейного жмыха в качестве плодородного слоя нет не только в нашей стране, но и за рубежом, то есть как объект исследования он характеризуется абсолютной новизной.

Все три органоменных субстрата, обладающих удовлетворительными санитарно-гигиеническими характеристиками, согласно заключениям, выданным ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург», допущены к использованию в качестве рекультивационного материала. Кофейный жмых и компост ТКО используются при рекультивации полигона с 2009 года, а ОСВ Гатчинского «Водоканала» - с 2012 г.

В ходе проведения рекультивационных работ все вышеперечисленные органоменные субстраты наносили в виде плодородного слоя мощностью от 0,2 до 1 м отдельными картами разной площади и оставляли под самозаращение. Таким образом, к настоящему времени сформировался опытный участок, состоящий из карт, перекрытых рекультивационным материалом, представленным тремя разными органоменными субстратами различных сроков экспонирования и, соответственно, разного времени самозаращения – от 1 года до 5 лет. Размеры площадей карт варьируют от 20 до 50 м<sup>2</sup> (ОСВ), от 0,5 до 1,0 га (компост ТКО, кофейный жмых).

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

- агрохимические показатели органоменных субстратов определяли общепринятыми методами (Агрохимические методы..., 1975; Аринушкина, 1970; Агрохимические методы... 2011);

- определение санитарно-химических показателей почв, природных вод и атмосферного воздуха проводили по нормируемым показателям в соответствии с требованиями СанПиНов и других нормативных документов. 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 ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Ленинградской области в Гатчинском районе»;

- 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);

- экотоксикологические параметры водных вытяжек из субстратов определяли методом биотестирования на гидробионтах – дафниях *Daphnia magna Straus* и инфузориях *Paramecia caudatum*;

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

- геоботанические описания растительности проводили стандартным методом на пробных площадках 5×5 м (Миркин и др., 2002) на каждом участке с однотипным субстратом и с однородными пространственно-временными параметрами. Помимо этого, для выявления флористического состава осуществлялись маршрутные исследования всех участков полигона, и 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 математической статистики при помощи программ Microsoft Office Exel 2007, Statistica 10.0, «Origin Pro».

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

Экологический мониторинг на объектах размещения отходов и прилегающих к ним территориях является частью системы наблюдений за состоянием и загрязнением окружающей среды и осуществляется в целях предотвращения, уменьшения и/или ликвидации негативных изменений качества окружающей среды. На основании многолетних наблюдений, проводимых на рекультивируемом полигоне ТКО, был получен и проанализирован обширный материал, который позволил прийти к следующим выводам:

1. Вследствие проведения рекультивации снизился уровень химического загрязнения почв СЗЗ полигона ТКО.

2. Существенно улучшились ранее неудовлетворительные санитарно-бактериологические показатели почв СЗЗ, если в 2008 г. они относились к категории «опасная», то в 2013 г. все исследованные пробы относились к категории «чистая».

3. Проводимые мероприятия по рекультивации полигона ТКО способствовали очищению поверхностных вод и улучшению их химических показателей - до начала рекультивации поверхностные воды превышали ПДК по шести параметрам, через 4 года проведения рекультивации - только по трем.



4. По санитарно-бактериологическим показателям к 2013 году качество поверхностных вод в дренажной канаве вокруг рекультивируемого полигона также улучшилось, хотя и осталось в целом несоответствующим нормативам.

5. Химический состав атмосферного воздуха территории полигона соответствовал гигиеническим нормативам до начала рекультивации и в процессе ее проведения.

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

**Агрохимические свойства** Известно, что пригодность субстратов в качестве плодородного грунта для продуктивного роста растений определяется прежде всего их агрохимическими свойствами. Проведенные исследования выявили существенные различия между используемыми органогенными субстратами по агрохимическим показателям.

Кислотно-основные свойства органогенных грунтов приведены в таблице 1 (рН – водородный показатель, S – сумма обменных оснований, Н<sub>г</sub> – гидролитическая кислотность, V – степень насыщенности основаниями), а содержание основных питательных элементов - в таблице 2.

Таблица 1. Кислотно-основные свойства органогенных грунтов

n=4, P=0,095

Субстрат	Год экспонирования	рН		S	Н <sub>г</sub>	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.

ОСВ характеризовался нейтральной реакцией среды, с высоким содержанием обменных оснований, повышенным содержанием фосфора и калия и очень высоким содержанием азота. В свежем ОСВ преобладали аммонийные формы азота, а в субстрате 1 и 2 года – нитратные формы.

Таблица 2. Агрохимическая характеристика органогенных субстратов

n=4, P=0,095

Субстрат	Год экспонирования	C <sub>общ</sub>	N <sub>общ</sub>	C: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.

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 происходила активная минерализация органического вещества ОСВ, сопровождающаяся уменьшением содержания углерода и особенно азота.

Исходный компост ТКО также являлся нейтральным, с высоким содержанием обменных оснований, азота, фосфора и калия. Среди подвижных форм азота преобладали нитратные формы, что говорит о достаточно высокой степени зрелости компоста. Как плодородный грунт компост ТКО был сравнительно устойчив; в течение трех лет экспонирования не выявлено достоверного уменьшения содержания органического вещества и подвижных форм питательных элементов.

Кофейный жмых значительно отличался от ОСВ и компоста ТКО. Он был очень кислым, обеднен фосфором. Вследствие чрезвычайно широкого отношения C:N, равного 39,9, процессы нитрификации в субстрате из кофейного жмыха подавлены, вследствие чего растения на кофейном жмыхе испытывают недостаток азота. К концу четвертого года экспонирования отмечено уменьшение содержания органического вещества, увеличение зольности и постепенный рост содержания подвижных форм питательных элементов.

### **Санитарно-химическая характеристика субстратов**

Основным неблагоприятным фактором, препятствующим широкому применению осадков сточных вод и компостов 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, 2010). Поэтому при использовании этих органических отходов в качестве удобрений, плодородных грунтов при рекультивации или в озеленении, санитарно-химические исследования являются обязательными. При использовании ОСВ или компостов ТКО при рекультивации полигонов санитарные требования, 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 в исследуемых субстратах было определено содержание тяжелых металлов (свинца, ртути, кадмия, никеля, хрома, марганца, цинка и меди), мышьяка, а также некоторых других загрязняющих веществ. 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 3, компостов ТКО и кофейного жмыха – в таблице 4.

Таблица 3. Санитарно-химическая характеристика ОСВ

n=4, P=0,095

Элемент или вещество, мг/кг	Нормативные требования к ОСВ*	Срок экспонирования		
		0**	1 год	2 года
Медь	1500	195±59***	155±41	340±92
Цинк	4000	205±61	200±53	365±98
Свинец	1000	21±7	18±5	65±17
Кадмий	30	4,1±1,2	3,7±1	5,0±1,3
Никель	400	65±23	59±16	120±33
Кобальт	-	7,5±2,2	8,0±2	6,3±1,7
Марганец	2000	210±63	175±47	210±57
Железо	-	3900±550	3635±700	6820±
Мышьяк	20	0,97±0,29	1,1±0,30	1,3±0,35
Ртуть	15	0,94±0,22	0,87±0,23	1,2±0,32
Бенз(а)пирен	-	0,095±0,027	0,090±0,025	0,10
ПХБ	-	<0,01	<0,01	<0,01
Нефтепродукты	-	<20	<20	<20
АПАВ	-	0,35±0,11	0,31±0,9	0,35±0,11
ДДТ и его метаболиты	-	не обн.	не обн.	не обн.
ГХЦГ α, β, γ-изомеры	-	не обн.	не обн.	не обн.

\* - Нормативные требования к ОСВ – СанПиН 2.1.7.573-96 «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения». Утв. 31 октября 1996 г. Постановление Госкомсанэпиднадзора РФ № 46.

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

\*\*\* - ошибка выборочной средней.

Таблица 4. Санитарно-химическая характеристика компоста из ТКО и кофейного жмыха

n=4, P=0,095

Элемент, мг/кг	ТУ* на компост из ТБО, 1996 г.	ТУ** на компост из ТБО, 2003 г.	Компост из ТКО				Кофейный жмых		
			0***	1 год	2 года	3 года	0***	1 год	4 года
Медь	300	300	112±33****	430±121	82±23	80±22	37±11	65±18	110±30
Цинк	500	1500	235±67	200±55	197±55	190±51	15±5	21±6	175±49
Свинец	200	1900	210±61	275±77	68±19	70±20	0,10±0,025	2,70±0,8	26±7,5
Кадмий	5	5	3,5±0,95	2,6±0,9	3,0±1	3,0±0,7	<0,01	<0,01	<0,01
Никель	100	100	37±11	33±9	22±6	20±6	5,0±1,3	2,5±1,1	10,5±3,1
Ртуть	10	5	4,5±0,7	6,5±2	4,0±1,1	3,5±1	0,02±0,01	0,02±0,01	0,02±0,01
Мышьяк	10	5	5,0±0,5	3,0±0,7	3,5±1	3,5±0,9	<0,01	<0,01	<0,01

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

\*\*ТУ 2189-005-03280885-2003 на компост ТБО. Разработан Агрофизическим ин-том Россельхозакадемии. Утв. 2003 г.

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

\*\*\*\* - ошибка выборочной средней.

Как видно из приведенных данных, исследуемые ОСВ характеризуются допустимыми 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. Только в пробе ОСВ, отобранной на площадке 20-летнего хранения, было зафиксировано высокое содержание кадмия, превышающее установленные нормативы для осадков почти в 2 раза, что связано с большим уровнем техногенной нагрузки и исходной загрязненности ОСВ в то время. По всем остальным загрязняющим веществам (полихлорированным бифенилам, поверхностно-активным веществам, изомерам гексахлорциклогексана, бенз(а)пирену) не выявлено повышенных или опасных концентраций. Низкое содержание поллютантов в ОСВ связано, несомненно, с отсутствием в настоящее время 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.

Компост из ТКО в большей степени загрязнен тяжелыми металлами, чем ОСВ. Все изученные пробы компоста соответствовали нормативам для компостов из ТКО, однако по двум элементам – свинцу (три пробы) и меди (одна проба) отмечено превышение нормативов для компостов ТКО в 1,1-1,3 раза. В отличие от компостов из ТКО и ОСВ, в кофейном жмыхе нет превышения нормативов ни по одному из контролируемых показателей, что, впрочем, вполне ожидаемо, поскольку кофейный жмых является отходом пищевой промышленности. Таким образом, по санитарно-химическим показателям этот субстрат является полностью безопасным.

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

Как известно, при организации экологического контроля состояния окружающей среды в первую очередь применяются аналитические методы исследования как наиболее чувствительные и точные. Однако эти методы имеют и целый ряд недостатков, о которых неоднократно писали в научной литературе (Капелькина и др., 2004; Терехова, 2007). Поэтому в последнее время для экотоксикологической оценки природных сред (почв, грунтовых вод и т.д.) обязательно применяют биологические методы, учитывающие реакцию живых организмов на загрязнение. При этом с помощью живых тест-организмов можно учесть токсическое воздействие не только всех поступивших в природные среды загрязняющих веществ, но и образовавшихся метаболитов. Именно биотестирование, основанное на контроле процессов жизнедеятельности биологических объектов, находящихся в анализируемой среде, рассматривается как метод интегральной оценки качества среды.

Исследование токсичности субстратов для высших растений (фитотестирование) выявило, что в свежем состоянии два исследуемых субстрата из трех – ОСВ и кофейный жмых – обладали умеренной степенью

токсичности, а компост из ТКО не только не обладал фитотоксичностью, но и оказывал стимулирующее действие на проростки.

В результате процессов детоксикации и самозаращения, которые происходили после нанесения органогенных субстратов на поверхность отвалов, наблюдалось быстрое устранение фитотоксичности ОСВ (уже ОСВ 1-го года был полностью нетоксичен для семян высших растений) и постепенное уменьшение токсичности кофейного жмыха, который сохранял слабую токсичность и в образцах 4-го года экспонирования. Кроме того, к концу 3 года снизилось до уровня контроля стимулирующее действие компоста ТКО на корни растений.

Изучение токсичности водных вытяжек из субстратов проводили для двух тест-объектов – дафний *Daphnia magna Straus* и инфузорий *Paramecia caudatum*. Исследованиями установлено, что для изученных субстратов дафнии являются более чувствительным тест-организмом, чем инфузории. Руководствуясь принципом соблюдения максимальной экологической безопасности, именно этот тест-организм и следует считать решающим при окончательном установлении класса опасности. В свежем состоянии все исследуемые органогенные субстраты были отнесены к IV классу опасности отходов (малоопасные). Со временем их токсичность постепенно уменьшалась, и компосты ТКО 2 и 3 года, а также кофейный жмых 4 года экспонирования были отнесены к V классу опасности (практически неопасные).

#### **Особенности температурного режима корнеобитаемого слоя исследуемых субстратов в течение вегетационного сезона**

Известно, что органогенные субстраты (органические удобрения - навоз крупного рогатого скота, помет и т.д., а также бытовые и пищевые отходы, торфокомпосты) при компостировании могут значительно нагреваться вследствие экзотермических реакций. 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 санитарно-защитной зоне полигона. Полученные результаты обобщены на рис.1.

Установлено, что исследуемые субстраты характеризовались разным температурным режимом корнеобитаемого слоя. Для всех исследуемых органогенных субстратов был свойственен специфический температурный режим, связанный с активным протеканием экзотермических процессов биохимического разложения органического вещества, вследствие чего наблюдалось увеличение температуры корнеобитаемого слоя субстратов с середины лета до конца осени. Наиболее активно «разогревался» компост ТКО, температура которого в октябре составляла 27-32°C для всех 3-х лет экспонирования, превышая дневную температуру воздуха на 20-24°C.

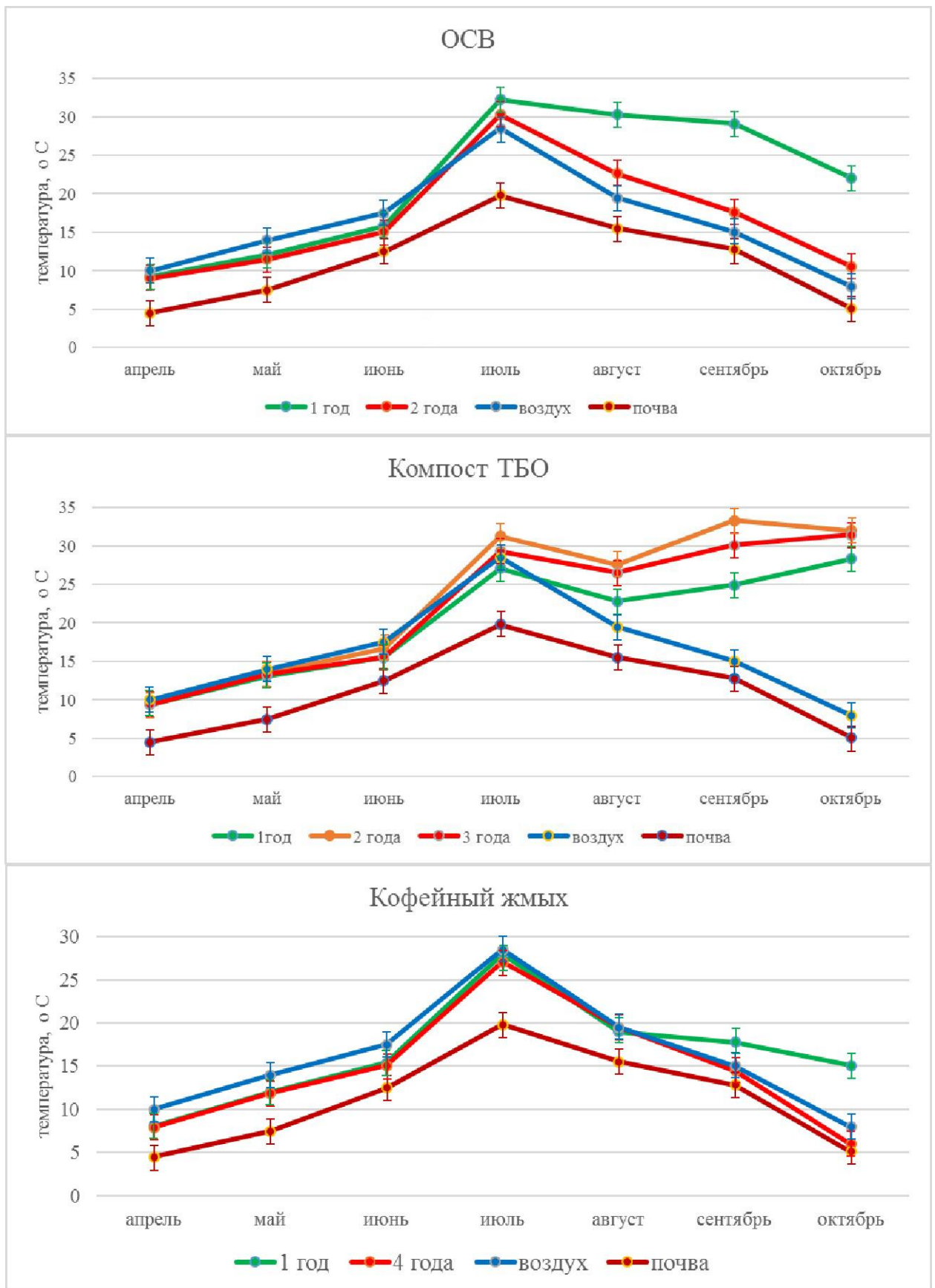


Рис. 1. Изменение температуры корнеобитаемого слоя субстратов, воздуха и фоновой почвы в течение вегетационного сезона 2014 г. (P=0,095)



В ОСВ также происходили экзотермические процессы, однако менее активно, чем в компостах 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 самозарастания. Изучение закономерностей начальных этапов формирования растительного покрова на опытных площадках явилось следующим этапом исследований.

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

Особенности зарастания используемых для рекультивации органогенных субстратов мало изучены, в то время как именно скорость самозарастания является основным критерием пригодности их в качестве плодородного слоя при рекультивации нарушенных земель.

Геоботанические описания растительности на опытных площадках рекультивируемого полигона ТКО были проведены совместно с с.н.с., к.б.н. Т.Е. Тепляковой.

Установлено, что зарастание субстрата из ОСВ в первый год формирования растительного покрова происходит исключительно за счет культурных растений-нитрофилов, а именно, томата съедобного или помидора (*Lycopersicon esculentum* Mill.) и томата мелкоплодного (*L. galeni* Mill.) из семейства пасленовых (*Solanaceae*), семена которых сохраняются в ОСВ и при этом сохраняют свою всхожесть, несмотря на все технологические операции, связанные с очисткой сточных вод. Проективное покрытие (ПП) не превышает 20%. На второй год ситуация кардинально изменяется: участок полностью покрывается растительностью (ПП 100%), причем растительный покров формируется видами местной флоры при почти полном отсутствии культурных растений, а его видовой состав более разнообразен. Состав жизненных форм усложняется, появляются древесные и кустарниковые формы.

Формирование растительного покрова на участках, покрытых компостом из ТКО, начинается уже с первых месяцев. В начальной стадии зарастания ведущая роль принадлежит исключительно культурным растениям: томатам (*Lycopersicon* spp.), тыквам (*Cucurbita* spp.), физалисам (*Physalis* spp.), 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, как то: марь (*Chenopodium* spp.), лебеда (*Atriplex* spp.), крапива двудомная (*Urtica dioica* L.), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris* L.) и др. Появляются представители кустарниковых и древесных форм - как местные виды: береза бородавчатая (*Betula pendula* Roth), ива козья (*Salix caprea* L.), осина обыкновенная (*Populus tremula* L.); так и культурные яблоня садовая (*Malus domestica* Borkh.), черноплодная рябина Мичурина (*Aronia mitschurinii* Skvorts. et Maitul.).

На субстратах из кофейного жмыха, участки которых создавались от одного до трех лет, растительный покров полностью отсутствовал. Только на четвертый год формируются небольшие заросли многолетних видов многолетних дикорастущих видов естественной флоры, прежде всего хвоща полевого (*Equisetum arvense* L.) и некоторых видов осок (*Carex* spp.), в микропонижениях и по окраине участка. Общее ПП растительного покрова на 4 год не превышает 10%.

### **Особенности формирования надземной биомассы растений на разных субстратах**

Формирование биомассы растений как процесс, отражающий общий итог активного почвенного богатства, роста и развития растений, может и должен использоваться в качестве универсального показателя при оценке экологического состояния экосистем. Как видно из приведенных данных (табл.5), все субстраты, использованные при рекультивации полигона, отличаются по активности процессов формирования биомассы.

Таблица 5. Величина надземной биомассы, сентябрь 2013 г.

n=4, P=0,095

Субстрат	Срок экспонирования	Надземная биомасса, кг/м <sup>2</sup>	Ошибка выборочной средней, кг/м <sup>2</sup>	Относительная ошибка, %
Компост из ТКО	2 месяца	1,70	0,75	44,1
	1 год	3,70	0,25	6,8
	2 года	3,28	0,20	6,1
	3 года	3,80	0,18	4,7
ОСВ	1 год	2,81	0,50	17,8
	2 год	3,48	0,35	10,0
Кофейный жмых	1 год	0	0	0
	2 года	0	0	0
	3 года	0	0	0
	4 года	0,93	0,11	11,8
Контроль (дерново-подзолистая почва СЗЗ)		1,12	0,14	12,5

Компост ТКО начинает активно зарастать уже в первый год своего экспонирования, хотя 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 значительно возрастает, и относительная ошибка определения уменьшается в 6 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 ТКО соответственно.

В итоге на субстрате 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).

### **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 сравнивали с ПДК для грубых и сочных кормов. 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. Кроме того, растения на ОСВ загрязнены тяжелыми металлами – в большей степени листья, ботва, и в меньшей степени – плоды. Сорная растительность (*Urtica dioica* L.), 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 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, выросшие на грунтах из ОСВ и ТКО в течение первых двух-трех лет после рекультивации, примерно в половине изученных проб содержали повышенные количества тяжелых металлов по сравнению с ПДК для грубых и сочных кормов.

## 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 ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### *Статьи в изданиях Перечня ВАК РФ:*

1. Малюхин Д.М., Поздняков В.А., Бакина Л.Г., Нагиев Т.Б., Поздняков А.В., Лоскутов С.И., Пухальский Я.В. Экспериментальное задернение многолетними травами грунта техногенного из твердых бытовых/коммунальных отходов используемого при рекультивации полигонов в качестве плодородного грунта // *Биосфера*. 2018. Т. 10 № 3. DOI 10.24855/biosfera.v10i3.451
2. Малюхин Д.М., Бакина Л.Г., Орлова Е.В., Орлова Е.Е. Агроэкологическая оценка органогенных субстратов, используемых при рекультивации полигона ТБО. // *Агрохимия*. 2016. №10. С.82-90.
3. Малюхин Д.М., Бардина В.И., Бакина Л.Г. Оценка экотоксичности новых органогенных субстратов, используемых при рекультивации полигона ТБО // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2014. Вып. 206. С. 55–64.
4. Теплякова Т.Е., Бакина Л.Г., Малюхин Д.М. Формирование экологически безопасной экосистемы при рекультивации полигона ТБО г. Гатчины: начальная стадия биологического этапа // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2014. Вып. 208. С. 6-21.
5. Теплякова Т.Е., Малюхин Д.М., Бакина Л.Г. Особенности формирования растительного покрова на новых видах органогенных субстратов при рекультивации полигона твердых бытовых отходов // *Биосфера*. 2014. Т. 6. №1. С. 118-129.

## МАТЕРИАЛЫ И ТЕЗИСЫ КОНФЕРЕНЦИЙ

1. Малюхин Д.М., Бакина Л.Г. Особенности применения кофейного жмыха, компоста из твердых бытовых отходов и осадка сточных вод для рекультивации полигонов ТБО // Материалы II международной научной конференции «Приоритеты мировой науки: эксперимент и научная дискуссия». Санкт-Петербург 24-25 декабря 2013 г. С. 16.
2. Maluhin D.M., Bakina L.G., Teplyakova T.E. Peculiarities of the sdw landfill overgrowth processes during the recultivation using the new organic substrates // International youth science environmental forum “Ecobaltica’2013”. St.-Petersburg, Russia, Desember 6-7. 2013. P.44
3. Малюхин Д.М., Бардина В.И., Бакина Л.Г. Агроэкоотоксическая оценка органогенных субстратов, используемых при рекультивации полигона ТБО // Сборник научных трудов молодых ученых, аспирантов, студентов и преподавателей «Шестой молодежный экологический конгресс «Северная Пальмира»». Санкт-Петербург 3-4 декабря 2014 г. С. 80-82.
4. Бакина Л.Г., Теплякова Т.Е., Малюхин Д.М. Особенности процессов самозаращения при рекультивации полигонов ТБО с использованием новых видов органогенных субстратов/Матер. Междунар. науч. конф. «Современное состояние почвоведения и агрохимии, пути их решения», 10-11 сентября 2015 г., Алматы. Алматы. 2015. С. 102.
5. Бакина Л.Г., Малюхин Д.М., Теплякова Т.Е. Особенности процессов формирования фитоценозов при рекультивации полигона ТБО: начальная стадия биологического этапа / Матер. Междунар. науч. конф. к 100-летию со дня рожд. акад. Г.В. Добровольского «Роль почв в биосфере и жизни человека», Москва, МГУ, 5-7 октября 2015 г. М. 2015. С.148-149.
6. Чугунова М.В., Бакина Л.Г., Герасимов А.О., Малюхин Д.М. Оценка напряженности процессов биотрансформации компостов из твердых бытовых отходов по показателям их микробиологической активности / Научно-практическая конференция с международным участием «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017». Сборник статей. /Под редакцией Ю.А. Омельчук, и др.
7. Рижия Е.Я., Малюхин Д.М., Вертебный В.Е., Мухина И.М., Ткачёва А.Ю. Прямая эмиссия CO<sub>2</sub> и N<sub>2</sub>O из грунтов техногенных, полученных при компостировании твердых коммунальных отходов / Экологические проблемы развития агроландшафтов и способы повышения их продуктивности. Сборник статей по материалам Международной научной экологической конференции. 2018. С. 152-154.
8. Милютин Н.О., Малюхин Д.М., Куриленко В.В. Основные этапы биохимических процессов в теле полигонов ТКО / Восемнадцатая международная молодежная научная конференция «Экологические проблемы недропользования. Наука и образование». Материалы конференции. / Под ред. проф. В.В. Куриленко. – СПб.: Изд-во «ЛЕМА», 2018, с. 212-214.