

На правах рукописи

ЯКОВЛЕВА ЮЛИЯ ОЛЕГОВНА

**АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО
ПОКРОВА И ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОД ПОЛИГОНОВ
ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Специальность: 4.1.5 – мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Санкт-Петербург - 2023

Работа выполнена на кафедре геоэкологии, природопользования и экологической безопасности Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет» (ФГБОУ ВО РГГМУ)

Научный руководитель:

Витковская Светлана Евгеньевна - доктор биологических наук, профессор кафедры геоэкологии, природопользования и экологической безопасности ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»

Официальные оппоненты:

Пузанов Александр Васильевич - доктор биологических наук, профессор, исполняющий обязанности заместителя директора по научной работе ФГБУН Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН

Ашихмина Татьяна Валентиновна - кандидат географических наук, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Ведущая организация:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Защита диссертации состоится «13» марта 2024 года в 11 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 24.1.001.01 при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Агрофизический научно-исследовательский институт» по адресу: 195220, Санкт-Петербург, Гражданский проспект, д.14. Тел. +7 (812) 534-13-24; факс +7 (812) 534-19-00; e-mail: office@agrophys.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Агрофизического научно-исследовательского института и на сайте <http://www.agrophys.ru>, с авторефератом - на сайте <http://vak.ed.gov.ru> и <http://www.agrophys.ru>.

Автореферат разослан «___» _____ 2024 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направлять по адресу: 195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 14, ФГБНУ АФИ

Учёный секретарь
диссертационного совета 24.1.001.01
кандидат биологических наук

_____ Н. Г. Синявина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. На протяжении последних десятилетий увеличение объемов образования твердых коммунальных отходов (ТКО) и усиление их негативного воздействия на окружающую природную среду является одной из основных экологических проблем. Согласно данным (World Bank, 2018) мировой объем ТКО составляет более 2,1 млрд. м³ в год. В России в период 2016-2020гг объем образования ТКО варьировался в пределах 49-61 млн. т., в хозяйственный оборот вовлекалось не более 7–8% отходов: захоронение остается приоритетным способом их обезвреживания.

Складирование и захоронение отходов приводит к концентрированию химических веществ в окружающей среде и формированию мелкоконтурных полиэлементных геохимических аномалий (Витковская, 2012). В зону воздействия тела полигона (свалки) попадают геологическая среда, подземные воды, воздушная среда, а также поверхностные воды, донные отложения, почвенный и растительный покров прилегающих территорий. Масштабы негативного воздействия полигонов ТКО на окружающую среду (образование свалочного газа, фильтрационных вод, развитие патогенной микрофлоры и др.) неразрывно связаны с объемами и морфологическим составом поступающих на захоронение отходов, проектной мощностью и продолжительностью эксплуатации объекта. Известно (Ашихмина, 2014, Витковская и др., 2019), что основным фактором негативного воздействия объектов размещения ТКО на окружающую среду является инфильтрация из тела полигона фильтрационных вод, образование которых является следствием взаимодействия влаги атмосферных осадков и реакционноспособных (потенциально разлагаемых) компонентов отходов.

Степень негативного воздействия полигонов ТКО на окружающую среду в значительной степени зависит также от качества природоохранных мероприятий (соблюдения экологического законодательства) в периоды их строительства и эксплуатации. После отсыпки полигона на предусмотренную высоту производится его закрытие и рекультивация (Свод правил ..., 2017).

Одним из направлений рекультивации полигона ТКО регламентированных (Инструкции по проектированию..., 1996) указано сельскохозяйственное направление, которое предусматривает последующее вовлечение объекта в сельскохозяйственный оборот. Следовательно, актуальны исследования, направленные на оценку экологического состояния территорий полигонов ТКО и распределение загрязняющих веществ в системе почва-растение, результаты которых лежат в основе обоснования выбора направления рекультивации.

Согласно ГОСТ Р 57446-2017: «Рекультивация полигонов - комплекс мероприятий, направленных на восстановление утраченного качественного состояния земель, достаточного для их использования в соответствии с целевым назначением и разрешенным использованием». В пункте 4.18 ГОСТ Р 59057-2020 указано: «нарушенные земли должны быть рекультивированы преимущественно под пашню и другие сельскохозяйственные угодья». Следовательно, актуальны исследования, направленные на оценку экологического состояния территорий полигонов

ТКО и распределения загрязняющих веществ в системе почва-растение, результаты которых лежат в основе обоснования выбора направления рекультивации.

Степень разработанности темы: Большой вклад в изучение состояния полигонов ТКО и их воздействия на компоненты окружающей среды внесли коллективы ведущих научно-исследовательских, высших учебных заведений и государственных служб: АКХ им. К.Д. Памфилова, ИНБИ РАН, НИЦЭБ РАН, ФГБНУ АФИ, МГУ, СПбГПУ, СПбГУ, Министерство природных ресурсов РФ, Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и др. Вопросам воздействия ТКО (ТБО) на окружающую природную среду посвящены работы многих отечественных и зарубежных ученых, в их числе: Абрамов Н.Ф., Бабак В.В., Вайсман Я.И., Витковская С.Е., Гапонов Д.А., Грибанова Л.П., Лифшиц А.Б., Левинский Ю.В., Малышевский А.Ф., Негуляева Е.Ю., Поддубский В.И., Федоровов Л.Г. Laner D., Barlaz M, Camobreco V., Forten M., Weber R., Watson A., и др.

В то же время, несмотря на значительное количество накопленной информации по экологическому состоянию полигонов ТКО и их воздействию на окружающую среду, крайне мало экспериментальных данных, позволяющих оценить интенсивность миграции тяжелых металлов и азота в системах: фильтрационные воды-растение; токсичные компоненты ТКО-почва-растение.

Цель исследования: Изучить экологическое состояние почвенно-растительного покрова и фильтрационных вод полигонов ТКО Ленинградской области для совершенствования методологических подходов к оценке воздействия объектов размещения отходов на окружающую природную среду и обоснования выбора направлений их рекультивации.

Задачи исследования:

1. Выявить основные факторы негативного влияния полигонов ТКО на окружающую природную среду.
2. Установить содержание ТМ и As в почве, растениях на территории полигона «Профспецтранс» (Волосовский район Ленинградской области).
3. Оценить уровень загрязнения грунтовых и фильтрационных вод (ФВ) на территории полигона «Профспецтранс». Провести сравнительную оценку элементного состава фильтрационных вод полигонов «Профспецтранс» и «Новый Свет-ЭКО».
4. Охарактеризовать потенциальную опасность фильтрационных вод полигонов ТКО для окружающей природной среды.
5. В условиях модельного лабораторного эксперимента изучить влияние возрастающих доз фильтрационных вод на содержание тяжелых металлов и азота в системе дерново-подзолистая почва - растения ячменя.
6. В условиях модельного лабораторного эксперимента изучить распределение кадмия, цинка, лития и свинца в системе дерново-подзолистая почва – растения ячменя в процессе трансформации отработавших химических источников тока в почве.
7. Оценить потенциальную возможность сельскохозяйственного направления рекультивации полигонов ТКО.

Научная новизна: Полученные в работе сведения дополняют имеющуюся информацию, об элементном составе фильтрационных вод полигонов ТКО, их потенциальной опасности для окружающей среды. Показано, что фильтрационные воды полигонов ТКО представляют собой полиэлементный раствор, обогащенный органическим веществом, азотом, фосфором и тяжелыми металлами.

- Выявлены существенные различия химического состава фильтрационных вод (ФВ) на объектах размещения ТКО различной проектной мощности (возраст 16-17 лет), функционирующих в сходных климатических условиях.
- Показано, что полиэлементный состав фильтрационных вод полигонов твердых коммунальных отходов позволяет рассматривать их как источник питания для почвенной микрофлоры и растений на откосах фильтрационных канав, прудов-отстойников и в случае поступления на прилегающие к ним территории. Влияние ФВ на рост и развитие растений зависит от генетически обусловленных особенностей растений, условий их контакта с ФВ, соотношения ФВ: почва.
- Впервые расчетным методом установлено, что загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами (превышение ПДКп), возможно только при длительном контакте фильтрационных вод с почвой, например, в пределах фильтрационной канавы, а также при отсутствии сооружений для сбора и отведения ФВ (несанкционированные свалки).
- Впервые установлена зависимость перехода тяжелых металлов в системе почва-растение от дозы фильтрационных вод.
- Впервые в условиях модельного эксперимента изучено распределение тяжелых металлов в системе почва-растение в процессе трансформации отработавших химических источников тока (ХИТ) в почве.

Положения, выносимые на защиту:

- 1) Основным фактором потенциальной опасности полигонов ТКО для контактирующих с ними сред являются фильтрационные воды, характеризующиеся повышенным содержанием аммонийного азота, Cd, Hg, Pb и Cr. Негативному воздействию ФВ подвержены, прежде всего, грунтовые воды.
- 2) На полигоне ТКО «Профспецтранс» Всеволожского района Ленинградской области, противофильтрационный экран не обеспечивал полную защиту грунтовых вод от загрязнения фильтрационными водами. На объектах размещения ТКО элементный состав фильтрационных вод может существенно варьироваться.
- 3) По содержанию тяжелых металлов в почве, территория полигона «Профспецтранс», прилегающая непосредственно к картам размещения отходов, соответствует допустимой категории загрязнения ($Z_c < 16$). Выбор сельскохозяйственного направления рекультивации объекта был бы возможен при условии ликвидации карт (санации).
- 4) Полиэлементный состав фильтрационных вод полигонов твердых коммунальных отходов позволяет рассматривать их как источник питания для почвенной

микрофлоры и растений. Загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами (превышение ПДКп) возможно только при длительном контакте фильтрационных вод с почвой.

- 5) Переход тяжелых металлов из почвы в растения зависит от дозы фильтрационных вод, степени окультуренности почвы и свойств химических элементов.
- 6) Отработанные химические источники тока в составе ТКО – существенный источник загрязнения ФВ, почвы и растений Li и тяжелыми металлами.

Практическая значимость: Результаты исследований могут быть использованы:

- при анализе экологического риска воздействия объектов размещения ТКО на окружающую природную среду;
- при обосновании выбора направления рекультивации полигонов ТКО на стадии проектирования;
- при разработке природоохранных мероприятий на полигонах ТКО и разработке технологий обезвреживания и утилизации фильтрационных вод;
- при разработке стратегий управления отходами на государственном и региональном уровнях;
- при оценке риска поступления отработанных химических источников тока в окружающую среду.
- в учебном процессе при подготовке специалистов по направлению экология и природопользование.

Обоснованность и достоверность результатов работы определяется достаточным объемом полученных экспериментальных данных. Аналитические испытания почвенных и растительных проб проводили по соответствующим ГОСТам и общепринятым методикам на сертифицированном оборудовании требуемой точности. Математическую обработку данных проводили в программе ORIGIN 7,5.

Апробация работы. Результаты исследований, изложенные в диссертации, были представлены на следующих конференциях: ежегодная студенческая конференция РГГМУ (СПб, 2016); Международная научно-практическая конференции «Роль молодых учёных в решении актуальных задач АПК», СПБГАУ (СПб, 2017); Международная научная конференции, посвященной 85-летию Агрофизического НИИ «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего» (СПб, 2017); Международная научная конференция XXI Докучаевские молодежные чтения «Почвоведение – мост между науками», (СПб, 2018 и 2019); Международная научная конференция, посвященной 85-летию Агрофизического НИИ «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего» (СПб, 2017); Международная научно-практическая конференция «Развитие агропромышленного комплекса на основе современных научных достижений и цифровых технологий», СПБГАУ, (СПб, 2019); 2-я Международная научная конференция «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего», посвященной памяти академика Евгения Ивановича Ермакова (СПб, 2019); VIII съезд Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и

Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв «Почвы – стратегический ресурс России (Сыктывкар, 2020-2022).

Организация исследования и личный вклад автора: Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет». Автор принимала непосредственное участие в отборе проб почвы, растений и фильтрационных вод на территории полигонов ТКО Ленинградской области, закладке и проведении модельных лабораторных опытов, подготовке почвенных и растительных проб к анализу, обобщении и анализе экспериментальных данных, подготовке публикаций. Личный вклад автора в объем исследований составляет не менее 70%.

Основные публикации по теме диссертации: По теме диссертации опубликовано 11-ть научных работ, в том числе 3 - в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной Комиссией (ВАК).

Структура и объем работы: Работа изложена на 113 страницах компьютерного текста, состоит из введения, 5 глав, выводов. Список литературы включает 149 источников, в том числе 15 на иностранных языках, иллюстрирована 20 рисунками, содержит 25 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Воздействие твердых коммунальных отходов на компоненты окружающей среды

Представлен анализ литературных данных о проблеме накопления и масштабах образования ТКО. Дана характеристика морфологического состава ТКО в зависимости от типа экономического развития страны, климатических характеристик регионов, также описано изменение и усложнение морфологического состава ТКО со временем развития общества: появление в 60-70 годах полимерных отходов, электронный лом, в том числе химические источники питания, лекарственные препараты и др. Рассмотрены различные способы утилизации ТКО, приведены примеры сходства и различий в нормативной базе Европейских стран и РФ. Представлена характеристика основных факторов негативного воздействия объектов размещения отходов на окружающую природную среду.

Глава 2. Объекты и методы исследования

С целью изучения влияния объектов размещения ТКО на содержание ТМ и мышьяка в почве и растениях, были проведены исследования на двух полигонах, расположенных в Ленинградской области:

- Полигон ТКО «Профспецтранс» (объект №1);
- Полигон ТКО «Новый Свет-ЭКО» (объект №2).

В условиях модельных экспериментов изучали воздействие фильтрационных вод и оработанных химических источников тока (ХИТ) на распределение тяжелых металлов и мышьяка в системе почва-растение.

2.1. Полигон «Профспецтранс» (объект №1)

Объектом исследования являлся полигон «Профспецтранс», расположенный в Волосовском районе Ленинградской области, в 5 км на юго-восток от г. Волосово. На момент проведения исследования (2016-2017гг), срок эксплуатации полигона составил 16-17 лет (Витковская, Шилова, 2017).

2.1.2 Климатическая характеристика района

По данным наблюдений метеостанции Волосово, климат рассматриваемого района переходный от морского к континентальному с умеренно теплым летом и продолжительной с оттепелями зимой. Весна и осень имеют затяжной характер. Годовая норма атмосферных осадков 635 мм, а средняя величина испарения составляет 440 мм, таким образом идет избыточное увлажнение территории (Проектно-сметная..., 2001).

2.1.3. Наблюдения на объекте

Для оценки содержания ТМ и Аs в почве и растениях на территории полигона «Профспецтранс», пробы отбирали в 2016-2017гг (расстояние от карт 2-18 м). В июне 2016г. для отбора почвенных проб были заложены 5 прикопок глубиной до 0,5 м. Пробы отбирали из каждого почвенного горизонта Аd (0-7); А1 (7-20); Вg (20-50), (всего – 15 проб). Растительные пробы отбирали по 1-2 вида в непосредственной близости от прикопок (9 растительных проб: *Phleum pratense L.*, *Carex*, *Taraxacum officinale Wigg*, *Poaceae*), а также из фильтрационной канавы (*Typha atifolia L.*). (Витковская, Шилова (1), 2018). В июле 2017 г. растительные пробы отбирали непосредственно с карт полигона: 3 растительные пробы в 2-х повторностях (*Matricaria chamomilla*, *Tussilago farfara*, *Artemisia vulgaris*) и техно-грунт, на котором произрастали растения – 3 пробы.

В марте 2017г. для оценки воздействия объекта на грунтовые воды на территории полигона были отобраны пробы из 3-х скважин. С целью установления степени загрязнения ФВ, в июле 2017г. были отобраны пробы из фильтрационного отвода тела полигона в обводную замкнутую траншею для сбора фильтрата.

2.2. Полигон «Новый Свет - ЭКО» (объект №2)

Полигон расположен в Гатчинском районе Ленинградской области. Площадь предприятия - 43 га (Полигон ТБО..., 2018). Объект был принят в эксплуатацию в 2001 году, среднегодовое количество принимаемых отходов (за весь срок эксплуатации полигона) – 500 тыс. т/год. Среднегодовое количество принимаемых отходов (за последние 5 лет) – 780 тыс. т/год. Планируемый срок эксплуатации полигона – 20 лет, однако, по истечению указанного срока, продолжает принимать отходы.

В сентябре 2017 года на объекте были отобраны пробы фильтрата из общего сборника фильтрационных вод; пробы растений, произрастающих непосредственно на ТКО (*Atriplex sagittata*, *Avéna sativa*) и на техно-грунте (*Atriplex sagittata*).

2.3. Методы аналитических испытаний

В почвенных и растительных пробах (2016г) валовое содержание ТМ (Cd, Hg, Pb, Zn, Cu, Co, Mn, Cr, Sb, Ni) и As определяли рентгено-флуорисцентным методом на кристалл-дифракционном спектрометре «Спектроскан МАКС-G». Атомно-абсорбционным методом устанавливали содержание подвижных соединений ТМ в почве (ААБ с рН 4,8). В пробах техно-грунта (2017г.), содержание ТМ определяли атомно-абсорбционным методом. Валовое содержание ТМ в растительных пробах определяли согласно (МУК 4.1.985-00). Содержание азота в наземной части растений устанавливали согласно (ГОСТ 13496.4-93). В пробах грунтовых вод и ФВ устанавливали: водородный показатель (рН), содержание органического вещества (потери при прокаливании), аммонийного азота (ПНД Ф 14.1:2:4.262-10), нитратного (ПНД Ф 14.1:2:4.4-95) и нитритного азота (ПНД Ф 14.1:2:4.3-95), фосфора (ЦВ 3.04.53-2004), Содержание Mg, ТМ (Li, Cd, Cr, Pb, Hg, Cu, Fe, Ba, Sb) и As устанавливали атомно-абсорбционным методом (МИ-ЭАЛ.01-2011). Сухой и прокаленный остаток определяли согласно (ПНД Ф 14.1:2:4.261-10). Математическую обработку данных проводили в программе ORIGIN 7,5.

2.4. Модельный лабораторный опыт 1. Влияние возрастающих доз фильтрационных вод на содержание азота, лития, тяжелых металлов и мышьяка в почве

Изучали влияние различных доз фильтрационных вод на содержание валовых форм ТМ (Cr, Cd, Zn), Li, NO₃, NH₄, рН в почве и распределение азота, лития и ТМ в системе почва-растения ячменя в зависимости от дозы ФВ и уровня окультуренности почвы. Фильтрат был отобран на полигоне «Профспецтранс» 12.07.2017г.

Опыт был заложен в 3-кратной повторности, в полиэтиленовых сосудах, масса почвы в сосуде – 0,96 кг. Почва для закладки опыта была отобрана в сентябре 2016 года в Меньковском филиале Агрофизического института (стационарный полевой эксперимент, заложенный в 2006 году на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, состоит из 3 парцелл (площадью 0,5 га каждая), различающихся дозами внесенных органических (бесподстилочный навоз КРС) и минеральных удобрений), Разновидность почвы на парцеллах соответствовала средне-, хорошо- и высоко окультуренной (табл. 1).

Схема опыта включала 18 вариантов (6 вариантов для каждой разновидности почвы): 1) Контроль (без фильтрата); 2) 52 мл/кг ФВ; 3) 104 мл/кг ФВ; 4) 156 мл/кг ФВ; 5) 208 мл/кг ФВ; 6) 260 мл/кг ФВ. Растения ячменя сорта «Ленинградский» (16 шт./сосуд) выращивали 25 суток. Почвенные пробы отбирали в день уборки.

В объединенных по повторностям для каждого варианта почвенных пробах валовое содержание Cr, Li, Zn устанавливали согласно (М-МВИ-80-2008), Cd (ФР.1.31.2002.00524). Содержание NO₃ – согласно (ПНД Ф 16.1:2:2.2:3.67-10); NH₄⁺ (ПНД Ф 16.2:2.3:3.30-02). рН ионселективным методом.

Таблица 1. Агрехимическая характеристика почвы опыта
(Витковская, Шаврина, 2017)

Вариант	pH _{KCl}	N, %	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Органическое В-ВО, %
			МГ/КГ		½ ММОЛЬ/100		
Средне окультуренная							
1	5,6	0,16	110	81	3,94	2,69	2,9
2	5,3	0,16	112	79	4,56	2,49	3,3
3	5,1	0,11	134	75	4,25	2,34	3,1
Хорошо окультуренная							
1	5,6	0,15	176	153	5,75	3,45	4,1
2	5,8	0,18	174	123	5,25	3,39	3,9
3	5,8	0,16	215	132	5,19	3,43	3,8
Высоко окультуренная							
1	6,2	0,21	247	132	6,87	3,41	5,7
2	6,2	0,24	231	132	7,00	3,43	5,6
3	6,1	0,26	242	155	7,44	3,39	5,4

2.5. Модельный лабораторный опыт 2. Распределение тяжелых металлов и лития в системе почва-растение в процессе трансформации отработавших химических источников тока

С целью изучения влияния отработавших химических источников тока (ХИТ) на валовое содержание ТМ (Cd, Zn, Pb), лития в почве и растениях был заложен модельный эксперимент. Для закладки опыта использовали средне-хорошо- и высоко окультуренную дерново-подзолистую легкосуглинистую почву, отобранную в Меньковском филиале АФИ в 2016г. (см. табл. 1).

Схема опыта: 1) Средне окультуренная почва – контроль; 2) Средне окультуренная почва + ХИТ; 3) Хорошо окультуренная почва - контроль; 4) хорошо окультуренная почва + ХИТ; 5) высоко окультуренная почва – контроль; 6) высоко окультуренная почва + ХИТ.

Масса почвы в сосуде – 0,67 кг. Опыт проводили в 3-кратной повторности. В опытные варианты были помещены отработавшие химические источники тока, батарейка класса АА, марка Duracell (электрохимическая система: щелочная, Алкалин Марганец (Zn-MnO₂)), масса - 0,022 кг: 1 ХИТ/сосуд. Почву компостировали 4 месяца. Полив - дистиллированной водой. Вскрытие ХИТ произошло на 7-10 неделе проведения опыта. ХИТ извлекли из почвы и поместили в стаканы с дистиллированной водой (150 мл), на одни сутки, затем воду с экстрактом из ХИТ равномерно внесли в сосуды в соответствии со схемой опыта. В каждый сосуд были внесены минеральные удобрения (азофоска). Посев растений ячменя сорта Ленинградский проводили дважды (июнь-июль) 16 семян на сосуд. После каждой уборки опыта устанавливали сырую и сухую массу надземной части растений. Корни растений отмывали в проточной и дистиллированной воде. В день уборки опыта из каждого сосуда были отобраны пробы почвы.

Валовое содержание ТМ (Cd, Zn, Pb) и Li в растительных пробах определяли согласно (МУК 4.1.985-00). В почвенных пробах валовое содержание Li, Zn, Pb устанавливали согласно (ФР.1.31.2013.14150 (М-МВИ-80-2008), Cd (ФР.1.31.2002.00524). рН - ионселективным методом.

Глава 3. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в грунтовых водах, почве и растениях на территории полигона твердых коммунальных отходов

3.1. Оценка потенциальной экологической опасности фильтрационных вод полигонов твердых коммунальных отходов Ленинградской области

Оценку потенциальной экологической опасности фильтрационных вод (ФВ) проводили на основании данных элементного состава ФВ, отобранных на объектах размещения отходов «Профспецтранс» и «Новый Свет-ЭКО» в 2017 году.

Объект 1. («Профспецтранс».) Фильтрационные воды, отобранные на объекте 1 (Волосовский район, Ленинградской области) характеризовались рН 8,3 (ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого водопользования 8,5-8,5 (ГН 2.1.5.1315-03). Установлено, что содержания фосфора и магния в ФВ превысило гигиенический норматив для водоемов в 21 раз, содержания Fe, Cd и Hg в 36, 15 и 1,2 раза, соответственно.

Объект 2. Полигон «Новый Свет-ЭКО». Фильтрационные воды характеризовались рН 8,1. Содержание аммонийного азота в ФВ в 1750 раз превысило гигиенический норматив (ГН 2.1.5.1315-03) и в 4,9 – содержание в ФВ объекта 1. Содержание аммонийного азота закономерно взаимосвязано с содержанием органического вещества: различие по данному показателю в ФВ объектов 2 и 1 - 3,6 раза. В ФВ объекта 2 содержания Li и Ba превысили гигиенический норматив (ГН 2.1.5.1315-03) в 17 и 6 раз, соответственно.

Содержание Cd, Hg, Pb, Cu, Cr и Fe в ФВ полигона «Новый Свет - ЭКО» превысило содержание в ФВ полигона «Профспецтранс» в 6,5; 33; 14; 5; 12 и 5,4 раза, соответственно. Содержание Cd, Hg, Pb и Cr в ФВ полигона «Новый Свет-ЭКО» превысило гигиенический норматив для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения в 97; 7 и 8 раз, соответственно (Витковская и др., 2018г.).

Полученные результаты свидетельствуют, что потенциальная опасность воздействия ФВ полигонов ТКО на водные объекты связана с чрезвычайно высоким содержанием аммонийного азота и повышенными концентрациями Cd, Hg, Pb и Cr.

3.2. Влияние фильтрата на элементный состав грунтовых вод

В пробах грунтовых вод, отобранных из скважин по периметру полигона, кратность превышения ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения составила: БПК₅ - 1,5; Li – 2,5; Hg – 7,6-9; Fe – 2,7-6,6, аммиак – 5,2-6, нитраты – 4,1-5,3 (табл. 2).

Полученный результат свидетельствует, что противодиффузионный экран не обеспечивал полную защиту грунтовых вод от загрязнения фильтрационными водами.

Таблица 2. Химический состав грунтовых вод
(Данные мониторинга на полигоне «Профспецтранс», 2017г)

№ п/п	Показатель	Ед. измер.	Результаты исследований			ПДК, мг/дм ³ рыб-хоз* / хоз-пит**
			Скважина 1	Скважина 2	Скважина 3	
1.	рН	ед.рН	6,8	6,7	6,8	- / 6,5-8,5
2.	БПК5	О/ дм ³	4,6	4,8	4,8	3 / -
3.	ХПК	О/дм ³	35	35	37	30 / -
4.	Сух.остаток	мг/дм ³	402	406	403	- / 1000
5.	Барий	мг/дм ³	0,084	0,075	0,078	0,7 / 0,1
6.	Железо общ.	мг/дм ³	0,33	0,27	0,66	0,1 / 0,3
7.	Кадмий	мг/дм ³	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	0,001 / 0,001
8.	Кальций	мг/дм ³	76	68	70	180 / -
9.	Литий	мг/дм ³	0,21	0,19	0,20	0,08 / 0,03
10.	Магний	мг/дм ³	29	39	30	40,0 / 50,0
11.	Медь	мг/дм ³	0,0011	0,0011	0,0012	0,001 / -
12.	Мышьяк	мг/дм ³	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,05 / 0,05
13.	Ртуть	мг/дм ³	0,000090	0,000082	0,000076	0,00001/0,0005
14.	Свинец	мг/дм ³	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,006/0,03
15.	Хром (VI)	мг/дм ³	<0,01	<0,01	<0,01	0,02/0,05
16.	Аммиак	мг/дм ³	0,28	0,26	0,30	0,05/1,5
17.	Нитриты	мг/дм ³	0,38	0,33	0,42	0,08/3,3
18.	Нитраты	мг/дм ³	22	22	56	40,0/45,0
19.	Гидрокарбонаты	мг/дм ³	349	362	362	- / -
20.	Сульфаты	мг/дм ³	10	10	10	100-500/ -
21.	Хлориды	мг/дм ³	19	22	21	300-350/ -

* для водоемов рыбохозяйственного значения (Приказ Минсельхоз №552 от 13.12.2016г)

** для водоемов хозяйственно-питьевого водопользования (ГН 2.1.5.1315-03)

3.3. Оценка содержания тяжелых металлов в почве и растениях на полигоне «Профспецтранс»

Оценку содержания ТМ и мышьяка в почве и растениях проводили на полигоне «Профспецтранс» в период с 2016-2017гг.

Превышение ОДК Cd в 5; 2,8 и 2,6 раза выявлено в 3-х пробах почвы (глубина 7-20 см), что свидетельствует о точечном загрязнении. Результаты исследования показали, что валовое содержание As на всей территории полигона на уровне и выше ПДК (2 мг/кг). Среднее содержание элемента в почве составило 2,5±0,7 мг/кг, ПДК была превышена в 60% проб. Валовые содержания Cu, Ni, Zn на всей территории полигона можно оценивать, как приближенные к ОДК - 23±8 мг/кг, 20±6 и

44±14 соответственно. Среднее по всем точкам опробывания валовое содержание Pb в слое почвы 0-40 см не превысило 12±1 мг/кг (ПДК 32 мг/кг).

Суммарный показатель загрязнения почвы (Zc) рассчитывали по значениям валового содержания всех тестируемых химических элементов (кроме Sb). Установлено, что в среднем по всем точкам опробывания значение Zc варьировалось в пределах 5±6, что соответствует допустимой категории загрязнения (Zc < 16), таблица 3.

Таблица 3. Значения суммарных показателей загрязнения почвы (Zc), 2016г

Горизонт	Прикопка				
	1	2	3	4	5
Ад (0-7 см)	3,6	0,9	0,5	1,8	4,5
А1 (7-20 см)	21,2	2,7	9,8	3,4	12,3
Вg (20-40 см)	10,2	1,0	1,1	0,9	3,4

Содержания подвижных соединений ТМ в почве на территории полигона были существенно ниже ПДК, зависели от расстояния точки опробывания до карты. На расстоянии 4 м содержание подвижных соединений тестируемых химических элементов в почве превысило содержание на расстоянии 18 м: Zn в 3,6 раза, Pb – в 2,7 раз, Cr и Cu в 2 раза, Mn - в 2,5 раза, Ni и Co – в 1,2 раза. Содержание подвижных соединения Pb, Zn в поверхностном слое почвы (0-7 см) линейно снижалось на расстоянии 4-18 м от Карты (коэффициенты корреляции (r) -0,993; -0,835, соответственно).

Во всех точках опробывания равномерным распределением по профилю (0-42 см) характеризовался Cr, относительно равномерным - Ni, Cu, Co и Mn. Выявлено увеличение содержания Pb в поверхностном (0-7 см) слое, по отношению к нижележащим горизонтам в 1,1-2,6 раза.

Превышение предела нормального содержания Cr (0,1-0,5 мг/кг (Ильин, 1991)) и МДУ Cr для грубых и сочных кормов, мг/кг (Временный максимально допустимый..., 1987) на 20-40% выявлено в 60% растительных проб (2016 г.). Содержание Mn в стеблях и листьях растений рогоза, отобранных из фильтрационной канавы, превысило предел нормальное содержание (15-150 мг/кг (Ильин, 1991)) в 3 и 4 раза, соответственно.

В 2017 году отбор проб техно-грунта и растений производили непосредственно с карт полигона. Результаты исследования показали, что во всех точках опробывания валовое содержание Zn превышало ОДК для песчаных и супесчаных почв (55 мг/кг) в 1,8-5 раз. Содержания Cr, Cd, Li, Pb и As не превышали допустимых норм.

Во всех тестируемых видах растений (*Leucanthemum vulgare L.*, *Tussilago farfara L.*, *Artemisia absinthium*) наблюдали превышение содержания Cr в 7-17 раз (МДУ Cr для грубых и сочных кормов - 0,5 мг/кг) (Временный максимально допустимый..., 1987). В 50% растительных проб содержание As было превышено в 1,3-1,7 раз (МДУ As для грубых и сочных кормов - 0,5 мг/кг). Только в одной из проб

(мать-и-мачеха) были установлены существенные превышения почти по всем элементам: Cd в 2,2, Li - 4,2, Pb - 1,5, Zn - 2,3 и Cr - 7,9 раз относительно МДУ для грубых и сочных кормов, соответственно, что подтверждает имеющуюся информацию о неоднородности содержания химических элементов в растениях (Витковская С.Е., 2011). Коэффициенты накопления ТМ растениями ($KH=Cp/Sp$) рассчитывали по отношению к валовому содержанию элементов в почве.

Глава 4. Влияние фильтрационных вод полигона твердых коммунальных отходов на распределение азота, лития и тяжелых металлов в системе почва-растение (модельный опыт 1)

4.1. Влияние фильтрационных вод на содержание азота, лития и тяжелых металлов в почве

Влияние возрастающих доз ФВ на содержание азота, лития и тяжелых металлов в почве устанавливали через 28 суток после закладки опыта (внесения ФВ в почву). Установлено, что в интервале доз ФВ 0-260 мл/кг, содержание нитратного азота в почве линейно возрастало: коэффициенты корреляции (r) для средне-, хорошо- и высоко окультуренной почвы составили, соответственно 0,707; 0,852 и 0,745 (рис. 1).

Не выявлено существенного влияния возрастающих доз ФВ на содержание хрома в почве. На средне-, хорошо-, высоко окультуренной почве содержание элемента варьировалось в пределах $4,9 \pm 0,8$; $4,4 \pm 0,4$ и $4,9 \pm 0,6$ мг/кг почвы, соответственно. Наиболее высокое содержание кадмия наблюдали на высоко окультуренной почве: $0,29 \pm 0,01$ мг/кг почвы в тестируемом интервале доз ФВ.

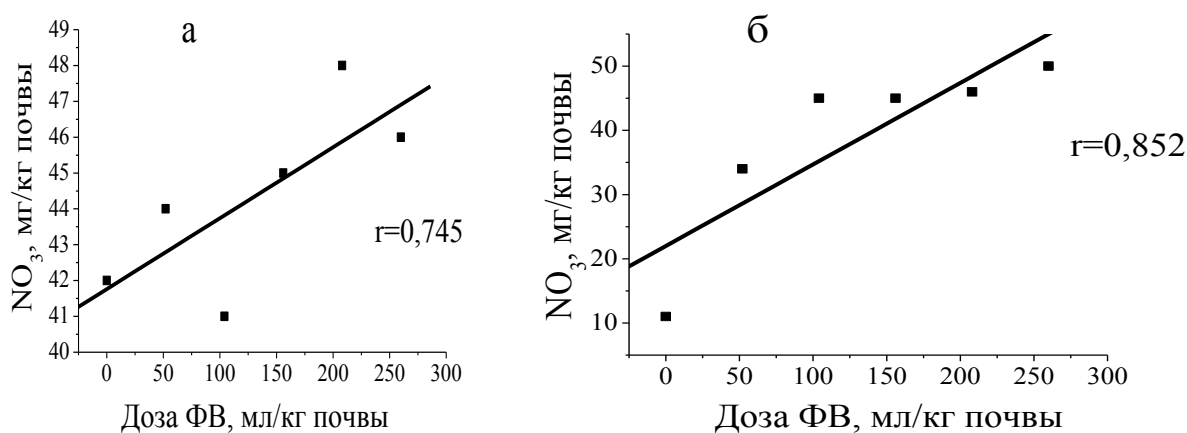


Рис. 1. Влияние возрастающих доз ФВ на содержание нитратного азота в почве (а - высоко окультуренная почва; б – хорошо окультуренная почва)

Содержание лития на средне окультуренной почве не зависело от дозы ФВ, варьировалось в пределах $2,1 \pm 0,2$ мг/кг почвы. На хорошо- и высоко окультуренной почве содержание лития линейно возрастало в интервале доз 0-260 мл/кг почвы. Максимальное увеличение содержания лития в почве по отношению к контролю (37%) наблюдали в варианте 4.

4.2. Влияние фильтрационных вод на содержание азота, лития и тяжелых металлов в растениях ячменя

Содержание азота в надземной части растений ячменя (табл. 4) линейно возросло в интервале доз ФВ 0-260 мл/кг почвы. Коэффициенты корреляции, характеризующие линейную зависимость между дозой ФВ и содержанием азота в проростках на средне-, хорошо- и высоко окультуренной почве составили, соответственно 0,774, 0,969 и 0,938, при критическом значении r на 5% уровне значимости 0,811. На средне окультуренной почве указанная зависимость в интервале доз ФВ 52-260 мл/кг почвы характеризовалась коэффициентом корреляции $r=0,974$ (при критическом значении r на 5% уровне значимости 0,878).

Таблица 4. Влияние возрастающих доз фильтрационных вод на элементный состав надземной части растений ячменя, мг/кг а.с.в. и азота, %
(Витковская, Шилова, 2020)

Вариант	N, %	Cr	Cd	Li	Pb	Zn
Средне окультуренная почва						
1. Контроль	3,80	9,58	0,11	0,55	11,18	42,9
2. 52 мл/кг ФВ	3,30	5,20	0,06	0,28	3,03	28,4
3. 104 мл/кг ФВ	3,63	6,13	0,17	0,29	2,27	29,2
4. 156 мл/кг ФВ	3,85	6,36	0,18	0,34	4,46	27,2
5. 208 мл/кг ФВ	3,98	5,69	0,08	0,41	2,49	27,2
6. 260 мл/кг ФВ	4,54	4,23	0,05	0,45	2,44	27,4
Хорошо окультуренная почва						
1. Контроль	3,79	6,17	0,01	0,35	6,89	28,5
2. 52 мл/кг ФВ	3,77	5,96	0,05	0,31	4,20	31,0
3. 104 мл/кг ФВ	3,96	6,08	0,11	0,32	4,21	33,4
4. 156 мл/кг ФВ	4,05	6,67	0,15	0,36	4,78	31,8
5. 208 мл/кг ФВ	4,27	24,86	0,78	1,35	31,56	49,2
6. 260 мл/кг ФВ	4,47	2,56	0,32	0,51	2,57	35,8
Высоко окультуренная почва						
1. Контроль	3,53	2,30	0,05	0,40	6,84	29,3
2. 52 мл/кг ФВ	3,72	0,73	0,03	0,36	5,02	29,8
3. 104 мл/кг ФВ	3,80	2,70	0,08	0,34	4,79	28,7
4. 156 мл/кг ФВ	3,80	1,98	0,11	0,43	4,62	30,9
5. 208 мл/кг ФВ	3,88	1,37	0,11	0,38	5,47	29,9
6. 260 мл/кг ФВ	3,91	2,68	0,18	0,52	7,56	40,5
МДУ для грубых и сочных кормов, мг/кг	-	0,5	0,3	-	5,0	50

При внесении 260 мл/кг ФВ, содержание азота в надземной части растений ячменя на средне-, хорошо- и высоко окультуренной почве возросло на 19, 18 и 11% соответственно.

Переход ТМ из почвы в растения зависел от дозы ФВ, степени окультуренности почвы и свойств химических элементов. Содержание всех тестируемых ТМ (Cr, Cd, Pb, Zn) и Li в корнях существенно превысило содержание в надземной части растений. В интервале доз ФВ 52-260 мл/кг, на средне- хорошо и высоко окультуренной почве зависимость содержание Li в надземной части растений от дозы характеризовалось коэффициентами корреляции (r) 0,978; 0,510 и 0,868, соответственно. Среднее по вариантам содержание Li в корнях ячменя (6 ± 2) превысило данный показатель для надземной части растений ($0,4\pm 0,2$) в 15 раз.

На средне окультуренной почве содержание кадмия не зависело от дозы ФВ. Зависимость $Cd_{\text{надз. часть}} = f(\text{Доза ФВ})$ на хорошо и высоко окультуренной почве характеризовалась коэффициентами корреляции (r) 0,703 и 0,924 соответственно (при критическом значении r на 5% уровне значимости 0,811). Содержание Cr в надземной части растений ячменя существенно превысило МДУ для грубых и сочных кормов, снижалось с увеличением уровня окультуренности почвы и не зависело от дозы ФВ (табл. 4).

По отношению к содержанию Zn в надземной части растений, в интервале доз ФВ наблюдали следующие тенденции: на средне окультуренной почве содержание элемента снижалось ($r = -0,716$), на хорошо- и высоко окультуренной почве возрастало и характеризовалось коэффициентами корреляции (r) 0,671 и 0,720, соответственно. Наблюдали тенденцию снижения содержания свинца в надземной части растений ячменя на средне- хорошо окультуренной почве $r = -0,666$; $-0,836$. На высоко окультуренной почве указанная зависимость характеризовалась положительным коэффициентом корреляции $r = 0,647$.

4.3. Влияние фильтрационных вод на биомассу растений ячменя

Зависимость воздушно-сухой биомассы растений ячменя от дозы ФВ представлена кривыми с максимумом (рис. 2).

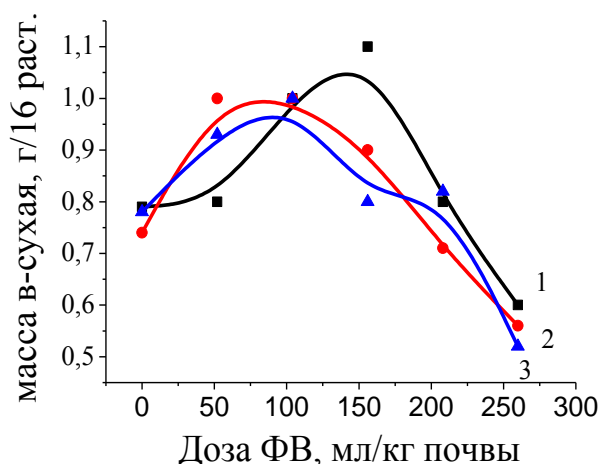


Рис. 2. Зависимость биомассы растений ячменя от дозы ФВ (1,2,3 – средне-, хорошо- и высоко окультуренная почва)

На средне окультуренной почве биомасса растений возростала в интервале доз ФВ 0-156 мг/кг почвы, на хорошо- и высоко почве – в интервале доз 0-104 мг/кг. Дальнейшее увеличение дозы ФВ повлекло за собой снижение биомассы растений.

Глава 5. Отрабоавшие химические источники тока как источник загрязнения почвы и растений тяжелыми металлами и литием (модельный опыт 2)

Переход тяжелых металлов и лития в системе почва-растение при загрязнении почвы отрабоавшими химическими источниками тока изучали в условиях модельного эксперимента. Эксперимент проводили в лабораторных условиях при комнатной температуре в течение 7-ми месяцев. ХИТ были внесены в почву и расчета 1 единица/0,67 кг почвы.

Опыт показал, что в процессе трансформации ХИТ наблюдается подщелачивание контактирующей с ним среды: pH_{H_2O} на хорошо- и высоко - окультуренной почве через 150 суток после закладки опыта достиг 7,8.

Во всех вариантах с ХИТ существенно возросло содержание лития в почве: превышение, по отношению к контрольным вариантам, составило 3-5,8 раза. Увеличения содержания кадмия и цинка в почве не выявлено. Можно говорить о тенденции увеличения свинца в почве. Выявлено, что литий наиболее интенсивно накапливался в корнях растений ячменя (табл. 5).

Таблица 5 Содержание тяжелых металлов и лития в надземной части и корнях растений, мг/кг абсолютно сухого вещества (1-й урожай) *

Вариант	Cd	Li	Zn	Pb
Средне окультуренная почва				
Контроль (надземная часть)	0,02	0,6	43	11,2
Контроль (корни)	0,93	6,5	10	10,5
почва+ХИТ (надземная часть)	0,06	0,3	37	1,7
почва+ХИТ (корни)	0,48	8,5	62	2,3
Хорошо окультуренная почва				
Контроль (надземная часть)	0,01	0,4	28	6,9
Контроль (корни)	0,79	7,2	45	8,0
почва+ХИТ (надземная часть)	0,08	0,3	24	1,3
почва+ХИТ (корни)	0,48	9,2	34	0,8
Высоко окультуренная почва				
Контроль (надземная часть)	0,05	0,4	29	6,8
Контроль (корни)	0,64	5,7	46	5,9
почва+ХИТ (надземная часть)	0,07	0,3	28	0,2
почва+ХИТ (корни)	0,45	7,4	47	2,6

*Примечание: объединенные по повторностям растительные пробы.

Отношение концентрации элемента в корнях (C_k) к концентрации в надземной части (C_n) в контрольных вариантах опыта варьировалось в пределах 11, 18 14

на средне-, хорошо- и высоко окультуренной почве, соответственно. Установлено, что литий, поступивший в почву вследствие трансформации ХИТ, находился в доступной для растений форме, мигрировал в системе почва-растение. В вариантах с ХИТ содержание лития в корнях растений ячменя (первый урожай) превысило содержание в контроле в 1,3 раза, независимо от разновидности почвы по степени окультуренности. Однако в растениях второго урожая не выявлено существенного влияния ХИТ на содержания Li в растениях. Вероятно, это связано с изменением формы нахождения элемента в почве в течение компостирования.

Доступность цинка для растений на загрязненной ХИТ почве зависела от степени окультуренности почвы. На средне окультуренной почве наблюдали существенное увеличение содержания цинка в корнях растений ячменя. В корнях растений первого и второго урожая различие между контрольным и опытными вариантами составило 6 и 14 раз, соответственно.

Выводы

- 1) Объекты размещения твердых коммунальных отходов являются долгосрочными потенциальными источниками поступления загрязняющих веществ в окружающую среду. Изменяется элементный состав грунтовых вод, почвы, растений. Основным фактором потенциальной опасности изменения элементного состава контактирующих с полигоном ТКО сред являются фильтрационные воды, представляющие собой полуэлементный раствор, обогащенный органическим веществом, азотом, фосфором и тяжелыми металлами.
- 2) На полигоне «Профспецтранс» противофильтрационный экран не обеспечивал полную защиту грунтовых вод от загрязнения фильтрационными водами: кратность превышения ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения в грунтовых водах по периметру полигона составила: БПК₅ – 1,5; Li – 2,5; Hg – 7,6-9; Fe – 2,7-6,6, аммиак – 5,2-6, нитраты – 4,1-5,3. Выявлены существенные различия элементного состава ФВ на объектах размещения ТКО (возраст 16-17 лет), функционирующих в сходных климатических условиях. Превышение гигиенического норматива содержания аммонийного азота в ФВ тестируемых полигонов достигало 360 - 750 раз.
- 3) а) Значение суммарного показателя загрязнения почвы (Z_c) на территории полигона «Профспецтранс», рассчитанного по валовому содержанию Cd, Hg, Pb, Zn, Cu, Co, Mn, As, Cr и Ni в почве, варьировалось в пределах 5 ± 6 , что соответствует допустимой категории загрязнения ($Z_c < 16$).
б) Во всех отобранных на территории полигона «Профспецтранс» видах растений (*Phleum pratense* L., *Carex*, *Taraxacum officinale* Wigg, *Poaceae*, *Typha atifolia* L.), содержания Cd, Hg, Pb, As, Zn, Cu, Co, Ni не превышали нормальных уровней концентраций. Содержание Mn в растениях *Typha atifolia* L., отобранных непосредственно из фильтрационной канавы, превысило предел нормального содержания в 3-4 раза. Повышенное содержание некоторых химических элементов (Cr, Li, As) наблюдали в растениях, отобранных непосредственно с карт

складирования ТКО («Профспецтранс», «Новый Свет-ЭКО»). Выбор сельскохозяйственного направления рекультивации объекта был бы возможен при условии проведения мероприятий по санации полигона.

- 4) Полиэлементный состав фильтрационных вод полигонов твердых коммунальных отходов позволяет рассматривать их как источник питания для почвенной микрофлоры и растений на откосах фильтрационных канав, прудов-отстойников и в случае поступления на прилегающие к ним территории. Влияние ФВ на рост и развитие растений зависит от генетически обусловленных особенностей растений, условий их контакта с ФВ соотношения ФВ: почва.
- 5) В условиях модельного эксперимента установлено, что внесения фильтрационных вод в интервале доз 52-260 мл/кг почвы не привело к существенному изменению реакции дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы и превышению ПДК NO_3^- и ТМ в почве. Биомасса растений ячменя и переход ТМ (Cr, Cd, Pb, Zn) и лития из почвы в растения зависела от дозы ФВ и уровня окультуренности почвы. Содержание азота в надземной части растений линейно возрастало в интервале доз ФВ 0-260 мл/кг почвы. Расчетным методом установлено, что загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами (превышение ПДКп), возможно только при длительном контакте фильтрационных вод с почвой, например, в пределах фильтрационной канавы, а также при отсутствии сооружений для сбора и отведения ФВ (несанкционированные свалки).
- 6) Отработанные химические источники тока в составе ТКО следует рассматривать как существенный источник загрязнения ФВ, почвы и растений Li и тяжелыми металлами. В процессе трансформации отработанных ХИТ (в условиях модельного эксперимента) наблюдали возрастание $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ и существенное увеличение содержания лития в почве: превышение, по отношению к контрольным вариантам, составило 3-5,8 раза. Наиболее интенсивно литий накапливался в корнях растений ячменя. Содержание тяжелых металлов в растениях зависело от продолжительности контакта ХИТ с почвой.
- 7) Для снижения негативного воздействия объектов размещения ТКО на окружающую природную среду, в Российской Федерации необходимо совершенствование подходов к рекультивации данных объектов на законодательном уровне.

Рекомендации производству

1) Полигон «Профспецтранс» со второго квартала 2021г не принимает отходы производства и потребления из Санкт-Петербурга из-за исчерпания мощности карт, прием отходов идет только из Волосовского района Ленинградской области. Полигон в ближайшем будущем готовится к закрытию и последующей рекультивации. Объект расположен на границе заболоченных земель Лесного фонда, основная опасность загрязнения окружающей среды связана с фильтрационными водами.

Рекомендуется:

– Продолжить проведение экологического мониторинга на объекте. Особенно важно контролировать такие показатели как: БПК₅, Li, Hg, Fe, аммиак, нитраты.

– Провести мероприятия по предотвращению поступления ФВ в сопредельные среды: обеспечить проведение работ по установке дренажного защитного слоя из инертных материалов (щебень, песок, гравийная смесь, мембранный геотекстиль) в фильтрационных отводах карт захоронения ТКО.

– Провести мероприятия по рекультивации полигона в соответствии с законодательством РФ (Постановление правительства..., 2018). Обеспечить восстановление почвенно-растительного покрова на объекте.

2) В настоящее время остро стоит вопрос о закрытии и последующей рекультивации многих полигонов ТКО в РФ, так как большинство из них давно исчерпали свои проектные мощности. Одним из законодательно предусмотренных направлений рекультивации полигонов ТКО является сельскохозяйственное направление. Однако, основываясь на анализе имеющейся информации и результатах настоящего исследования, выбор сельскохозяйственного направления рекультивации для объектов размещения ТКО может быть рекомендован только после санации территории полигона и восстановления почвенно-растительного покрова.

3) В регионах РФ необходимо совершенствовать систему сбора и переработки опасных компонентов ТКО с целью предотвращения их поступления в окружающую среду.

Перспективы дальнейшей разработки темы

1) Перспективны исследования, направленные на совершенствование законодательства в области рекультивации полигонов ТКО. В настоящее время при закрытии полигона понятие «рекультивация земель» подменяется понятием «консервация земель». Согласно п. 5 (Постановление правительства..., 2018) «рекультивация земель должна обеспечивать восстановление земель до состояния, пригодного для их использования в соответствии с целевым назначением, в отношении земель сельскохозяйственного назначения восстановление должно соответствовать нормам и правилам в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения». «Консервация земель - мероприятия по уменьшению степени деградации земель, предотвращению их дальнейшей деградации и (или) негативного воздействия нарушенных земель на окружающую среду, проводится в отношении нарушенных земель, если устранение нарушения земель путем рекультивации, невозможно в течение 15 лет» (Постановление правительства..., 2018). В Российской Федерации необходимо развивать практику рекультивации полигонов, с последующей передачей земель для сельскохозяйственного или иного целевого вида пользования, чтобы перейти от «консервации» нарушенных земель к «рекультивации» важно на законодательном уровне вводить понятие санации полигонов и разрабатывать методологию ее проведения на основе многолетнего Европейского опыта.

2) Перспективно дальнейшее изучение элементного состава ФВ и их потенциальной опасности для окружающей среды, влияния ФВ на рост и развитие растений, а также возможного использования их для повышения плодородия почв.

- 3) Крайне мало данных о влиянии ХИТ на почву, растения, водную среду, в связи с чем, актуально дальнейшее изучение закономерностей распределения химических элементов в структурных компонентах экосистем в процессе трансформации ХИТ. Особое внимание следует обратить на возможное загрязнение Li контактирующей с ХИТ сред.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Статьи в рецензируемых журналах, согласно перечню ВАК:

1. Витковская С.Е., Шилова Ю.О. (Яковлева Ю.О.) Содержание тяжелых металлов в почве, растениях и грунтовых водах на территории полигона твердых коммунальных отходов // *Агрофизика*. – 2018. – №3. – С.7 – 14.
2. Витковская, С.Е. Шилова Ю.О. (Яковлева Ю.О.), Малюхин Д.М. Оценка потенциальной экологической опасности фильтрационных вод полигонов твердых коммунальных отходов Ленинградской области // *Агрофизика*. – 2019. – №1. – С.1 – 6.
3. Витковская С.Е., Шилова Ю.О. (Яковлева Ю.О.) Влияние фильтрационных вод полигона твердых коммунальных отходов на биомассу и элементный состав растений ячменя // *Агрехимия*. – 2020. – №11. – С. 66 – 73.

В других изданиях:

1. Шилова Ю.О. (Яковлева Ю.О.), Витковская С.Е. Токсичные компоненты твердых бытовых отходов как источник загрязнения почв // Роль молодых учёных в решении актуальных задач АПК: сборник науч. Трудов международной научно-практической конференции молодых учёных / СПбГАУ. – СПб., 2017. (Санкт-Петербург–Пушкин, 27–28 февраля 2017 года). – С. 88 – 89.
2. Шилова Ю.О. (Яковлева Ю.О.), Витковская С.Е., Оценка содержания тяжелых металлов в почве и растениях на территории полигона твердых бытовых отходов // *Метеорологический вестник*. – 2017. – т.9 №2. – С. 262 – 265.
3. Шилова Ю.О. (Яковлева Ю.О.) Содержание тяжелых металлов в почве и растениях на территории полигона твердых бытовых отходов // *Материалы Международной научной конференции XXI Докучаевские молодежные чтения «Почвоведение – мост между науками»*. – СПб. – 2018. – С. 294 – 296.
4. Шилова Ю.О. (Яковлева Ю.О.), Витковская С.Е. Оценка воздействия полигона твердых бытовых отходов на содержание тяжелых металлов в почве и растениях // *Материалы Международной научной конференции, посвященной 85-летию Агрофизического НИИ «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего» Санкт-Петербург 27–29 сентября 2017г.* – ФГБНУ АФИ, СПб. – 2017. – С. 535 – 538.
5. Шилова Ю.О. (Яковлева Ю.О.), Витковская, С.Е. Влияние фильтрационных вод на содержание азота и тяжелых металлов в почве и растениях // *Материалы Международной научно-практической конференции «Развитие агропромышленного комплекса на основе современных научных достижений и цифровых технологий»*, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, с 24 –

26.01.2019г. – СПб. – 2019. – С.102 – 106.

6. Шилова Ю.О. (Яковлева Ю.О.) Отработавшие химические источники тока как причина загрязнения почвы и растений // Материалы Международной научной конференции XXII Докучаевские молодежные чтения «Почва как система функциональных связей в природе». – СПб. – 2019. – С.47 – 48.
7. Шилова Ю.О. (Яковлева Ю.О.), Витковская, С.Е. Влияние фильтрационных вод полигона твердых коммунальных отходов на распределение азота и тяжелых металлов в системе почва-растение // Материалы 2-й Международной научной конференции «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего», посвященной памяти академика Евгения Ивановича Ермакова, 2-4 октября 2019г. – СПб. – 2019. С. 602 – 607.
8. Шилова Ю.О. (Яковлева Ю.О.), Витковская С.Е. Фильтрационные воды полигонов твердых коммунальных отходов как потенциальный источник загрязнения почв// Почвы – стратегический ресурс России: тезисы докладов VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв (Сыктывкар, 2020-2022гг.) Часть 3. – Москва-Сыктывкар: ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. – 2021. – С.275 – 276.