МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра геоэкологии, природопользования и экологической безопасности

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(магистерская диссертация)

На тему Анализ содержания тяжелых металлов в почвах, прилегающих к полигонам твердых коммунальных отходов

Исполнитель **Калашников Даниил Александрович**
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат биологических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Рижия Елена Яновна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой _____
(подпись)
кандидат биологических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Мухин Иван Андреевич
(фамилия, имя, отчество)

«11» 06 2025 г.

Санкт–Петербург
2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ **3**

ГЛАВА 1. ПОЛИГОНЫ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ **6**

1.1 Описание характеристик твердых коммунальных отходов 6

1.2 Эколого-экономические аспекты функционирования полигонов ТКО 9

1.3 Территориальная схема обращения с отходами в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. 14

1.4 Подходы к утилизации отходов в международном контексте 16

ГЛАВА 2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ **20**

2.1 Системный подход к организации экологического мониторинга 20

2.2 Комплексная оценка воздействия полигонов ТКО на компоненты природной среды 22

2.3 Иностранный опыт организации мониторинга полигонов твердых отходов 27

ГЛАВА 3. МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.

3.1 Объекты исследования ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

3.2 Метод отбора проб ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

ГЛАВА 4 ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.

4.1 Индекс загрязнения почв (анализ кратности ПДК) ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

4.2 Распределение ТМ в профиле почв ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

4.3 Расчёт суммарного загрязнения почвы ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

ГЛАВА 5. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ **74**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ **78**

ПРИЛОЖЕНИЕ А **85**

ПРИЛОЖЕНИЕ Б **86**

ВВЕДЕНИЕ

Проблема накопления отходов промышленного производства и бытового потребления, а также их воздействия на окружающую среду и, следовательно, на здоровье человека, приобретает глобальный масштаб и требует всестороннего изучения. В условиях динамично развивающегося общества потребления наблюдается тенденция к увеличению объёмов производимой продукции, однако срок её службы зачастую оказывается существенно ниже ожидаемого. Это явление обусловлено не только недостаточным качеством товаров, но и их стремительным моральным устареванием. В результате ежегодно возрастают объёмы отходов, что создаёт серьёзную экологическую угрозу.

Данная проблема усугубляется тем, что значительная часть отходов, образующихся в процессе производства и потребления, относится к категории трудноперерабатываемых или не подлежащих рециклингу. Это приводит к накоплению на свалках и полигонах отходов, содержащих токсичные вещества, такие как тяжёлые металлы, пластмассы, химические соединения и другие загрязнители, которые оказывают негативное воздействие на экосистемы, водные ресурсы и почву. В свою очередь, это может вызывать долгосрочные последствия для здоровья человека, включая хронические заболевания, аллергические реакции и другие негативные эффекты [35].

В настоящее время полигоны для захоронения отходов остаются наиболее распространённым способом их утилизации. Это связано с их простотой и относительно невысокой стоимостью. В Российской Федерации зафиксировано 4193 объекта, предназначенных для складирования отходов. Общая площадь, занимаемая этими объектами, составляет приблизительно 40 тысяч квадратных километров, что сопоставимо с размерами таких европейских государств, как Нидерланды или Дания. По сведениям Министерства природных ресурсов, около 200 квадратных километров земли занимают стихийные мусорные

свалки. Каждый год в России формируется около 70 миллионов тонн твердых бытовых отходов, и прогнозируется дальнейший рост этого показателя. Значительное количество полигонов уже достигли предельной заполненности или находятся на грани этого [12].

Несмотря на начало «мусорной реформы» в 2019 году, очевидно, что в обозримом будущем захоронение отходов на полигонах останется основным методом их обработки в России. В связи с этим, крайне важно серьезно относиться к проблеме воздействия полигонов ТБО на окружающую среду, поскольку расширение их площадей ведет к усилению этого воздействия [34].

Продолжительное складирование и переработка отходов могут приводить к изменениям в структуре и свойствах почвы, оказывая влияние на ее плодородие и агроэкологическое состояние в окрестностях полигона. Одним из неблагоприятных результатов функционирования полигонов ТКО является загрязнение почвы тяжелыми металлами, присутствующими в выброшенных предметах. Под воздействием внешней среды, воды и микроорганизмов происходят химические и биохимические процессы, сопровождающиеся выделением тепла, биогазов и фильтрата. Тяжелые металлы не подвергаются биологическому разложению и могут стать источником загрязнения водных объектов, расположенных вблизи свалок и полигонов [4]. И если на протяжении всего периода эксплуатации полигонов, проводится их мониторинг для обеспечения принятия своевременных и надлежащих мер по обеспечению экологической безопасности объекта, то загрязнение тяжёлыми металлами территорий, расположенных вблизи полигонов ТКО, приобретает кризисный характер, поэтому эколого-токсикологическая оценка продолжает оставаться актуальной темой исследования.

Объектом исследования настоящей диссертации является комплексное воздействие полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО) на почвенную экосистему.

Целью работы является оценка влияния полигонов ТКО на эколого-токсикологическое состояние почвенного покрова, а также разработка рекомендаций по оптимизации системы экологического мониторинга в зонах их воздействия.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и последовательно решены следующие задачи:

1. Провести анализ основного воздействия полигонов ТКО на компоненты окружающей среды по литературным источникам.
2. Изучить системный подход к организации экологического мониторинга полигонов ТКО.
3. Исследовать эколого-токсикологическое состояние почвенного покрова в зонах воздействия полигонов ТКО.
4. Разработать предложения по повышению эффективности системы экологического мониторинга почв на основе анализа данных, полученных при исследовании двух полигонов ТКО.

В рамках этого этапа планируется проведение сравнительного анализа и выявление наиболее значимых факторов, влияющих на состояние почвенного покрова в условиях эксплуатации полигонов.

Таким образом, диссертация направлена на комплексное изучение проблемы воздействия полигонов ТКО на почвенную среду и разработку научно обоснованных рекомендаций по совершенствованию системы экологического мониторинга в данной сфере.

ГЛАВА 1. ПОЛИГОНЫ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

1.1 Описание характеристик твердых коммунальных отходов

Повседневная жизнь современного человека неизбежно сопровождается образованием отходов. К категории твёрдых коммунальных отходов (ТКО) относятся не только мусор, который ежедневно накапливается в наших квартирах, но и схожие по составу отходы, возникающие в процессе работы различных организаций и предпринимателей [1].

Масштабы накопления ТКО поражают воображение: каждый год планета производит более 2,12 миллиардов тонн бытового мусора. Российская Федерация вносит в эту статистику свой вклад, формируя 3,3% от общемирового объёма, что составляет около 50 миллионов тонн отходов (рис. 1).

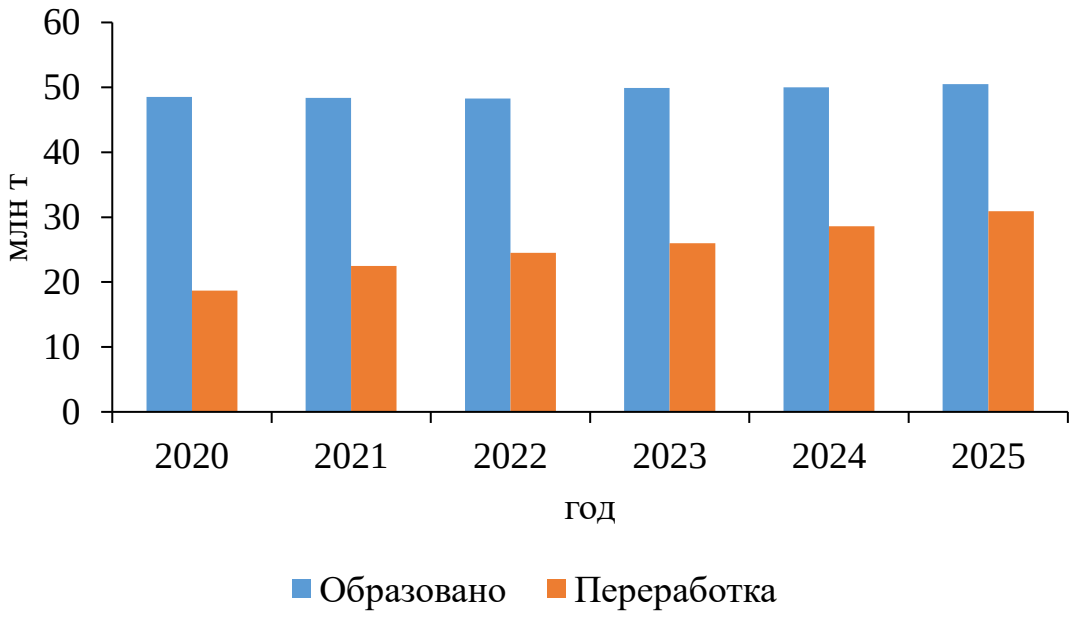

Рисунок 1 – Динамика образования и переработки ТКО в Российской Федерации (25-ый год – прогноз, Росстат)

Как видно из представленного рисунка, количество образуемых жителями нашей страны из года в год возрастает. На 2024 год оно составило 50 млн тонн, что больше, по сравнению с 2020 годом на 10 %, а по прогнозным расчётам, в 2025 гду достигнет величины 50,5 млн тонн.

В масштабах Северо-Западного федерального округа эта цифра достигает 12,5 млн м³, причём почти половина этого объёма, а именно 6 млн м³, приходится на культурную столицу России — Санкт-Петербург Эти цифры наглядно демонстрируют актуальность проблемы управления твёрдыми коммунальными отходами и необходимость внедрения эффективных систем их переработки и утилизации[12, 13]. Из данного рисунка также отмечается тот факт, что система переработки ТКО в нашей стране начинает возрастать, что является положительным примером действия «мусорной» реформы в стране.

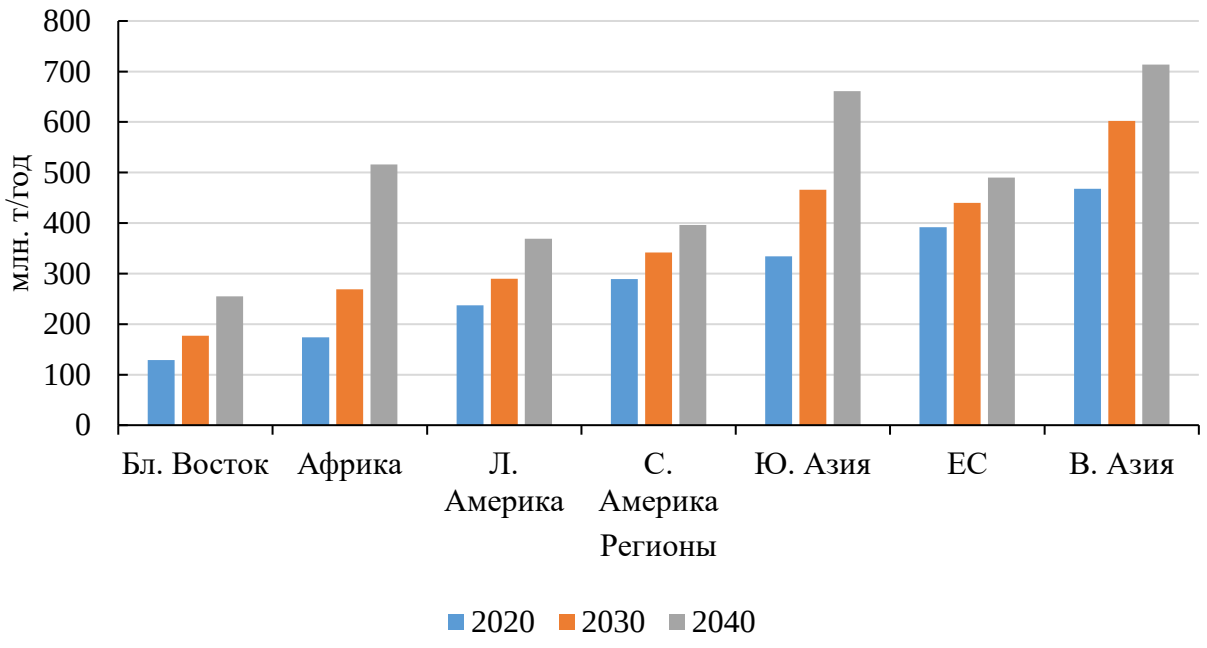

Рисунок 2 - Прогнозируемое образование отходов по регионам мира (млн тонн/год)

Исследование глобальных тенденций в области образования твёрдых коммунальных отходов раскрывает следующую закономерность: количество

производимого мусора тесно связано с экономическим благополучием страны. Выделяется настоящая «мусорная иерархия» государств. Богатые государства генерируют в шесть раз больше отходов на душу населения, чем их менее обеспеченные соседи. Данный тренд обусловлен совокупностью демографических и экономических факторов, включая увеличение численности населения и интенсификацию производственных процессов. При этом наблюдается существенная дифференциация в динамике накопления отходов между государствами различного уровня экономического развития [40, 43].

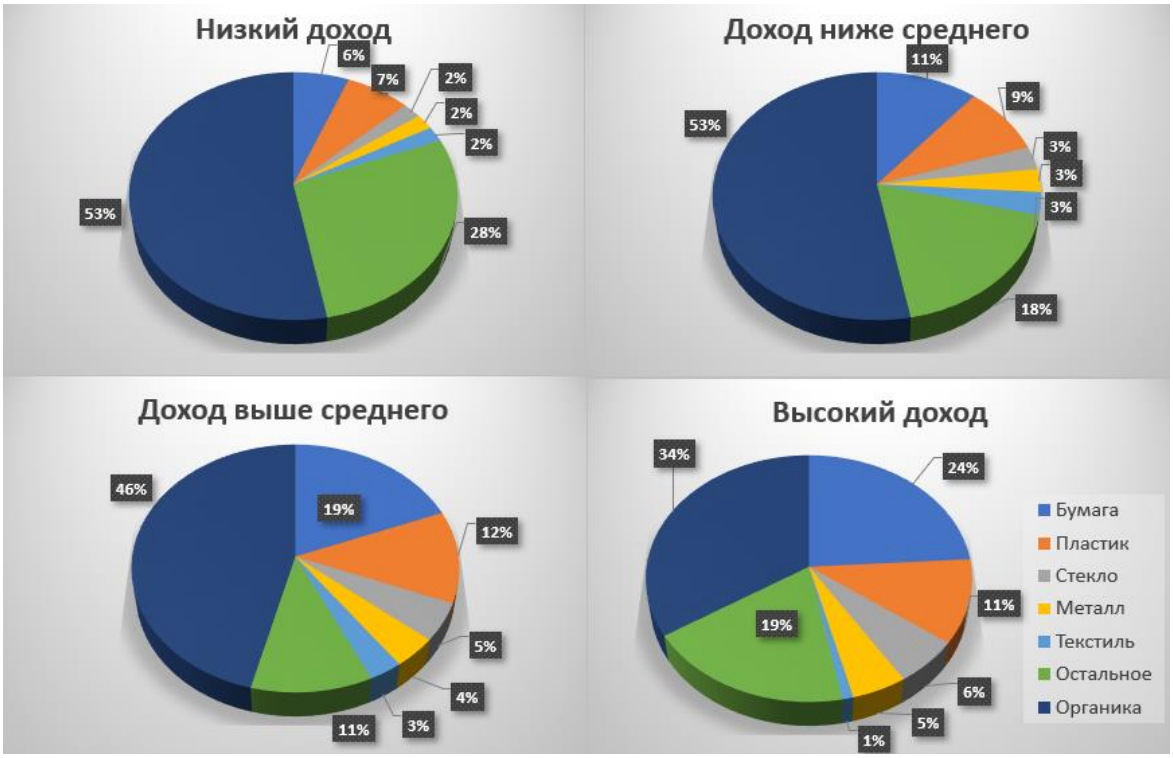

Рисунок 3 - Морфологический состав ТКО и его связь с уровнем дохода населения в мире

На изображении видно, что количество органической массы в твёрдых коммунальных отходах (ТКО) отличается в зависимости от уровня дохода в странах. В государствах с высоким доходом органическая масса составляет 34% от общего объёма ТКО, а в странах с низким и средним доходом — 53%.

Также есть разница в доле макулатуры: в бедных странах она составляет до 6%, а в богатых — 24%. Это связано с цифровизацией документооборота и переходом на электронные носители.

Доля других составляющих отходов, таких как металлолом, текстиль и стекло, остаётся относительно низкой и варьируется от 6% в странах с низким доходом до 12% в государствах со средним и высоким уровнем дохода [23, 37, 52].

В современных условиях производители и импортёры товаров обязаны самостоятельно обеспечивать утилизацию отходов, возникающих от использования продуктов и упаковки, утративших потребительскую ценность.

Правительство Российской Федерации определяет: перечень товаров и упаковки, подлежащих утилизации; нормативы утилизации; порядок отчётности о выполнении установленных требований.

Существующая законодательная база в области управления отходами, к сожалению, имеет существенные недостатки: правовые нормы сформулированы настолько нечётко, что ответственность за экологические нарушения в сфере обращения с производственными и бытовыми отходами оказывается размытой и трудно применимой на практике.

Эта правовая неопределённость создаёт серьёзные препятствия для эффективной защиты окружающей среды от негативного воздействия отходов. В связи с этим назрела острая необходимость в разработке комплексной стратегии экологической безопасности, которая бы учитывала все аспекты проблемы и предлагала конкретные решения.

1.2 Эколого-экономические аспекты функционирования полигонов ТКО

Масштабы образования твёрдых коммунальных отходов в мире достигают миллиардов тонн ежегодно, при этом Российская Федерация

генерирует около 70 миллионов тонн ТКО, что составляет 3,3% от глобального объёма отходов [12, 40, 45].

Среди существующих методов утилизации отходов наиболее традиционным и широко применяемым остаётся полигонное захоронение. Популярность данного метода обусловлена рядом существенных преимуществ: технологической простотой реализации, минимальными стартовыми инвестициями, высокой пропускной способностью, экономичностью эксплуатации [42, 46].

Мировая статистика в сфере обращения с отходами демонстрирует значительные различия между странами: в государствах с низким уровнем доходов населения (включая Ближний Восток, Африку и Южную Азию) основная часть, а именно 93% отходов, напрямую отправляется на мусорные полигоны [30].

Россия показывает результаты, сопоставимые с развивающимися странами: около 90% всех отходов в стране подвергается захоронению [20]. В отличие от этого, государства с высоким уровнем дохода достигают значительных успехов: доля отходов, отправляемых на свалки, может быть сокращена до минимального уровня в 1%.

Показательным примером служит Япония, где при общем объёме образуемых твёрдых коммунальных отходов в 40,7 млн тонн: 80% отходов подвергается термической обработке; 14% проходит процедуру переработки; 5% возвращается в производственный цикл через рециклинг; лишь 1% отправляется на полигоны [22].

В эпоху стремительной урбанизации и растущей озабоченности качеством городской среды проблема экологического воздействия мусорных полигонов выходит на передний план общественного дискурса [43, 49].

Современные свалки и полигоны представляют собой сложные экосистемы, где в результате взаимодействия разнородных отходов и окружающей геологической среды происходят комплексные химические и

биохимические трансформации. Эти процессы приводят к образованию и выделению широкого спектра потенциально опасных соединений в различных агрегатных состояниях: твёрдые субстанции, жидкие фильтраты, газообразные выбросы [36, 52].

Полигон твёрдых коммунальных отходов представляет собой уникальный феномен взаимодействия природы и антропогенного воздействия, формируя особую геоэкологическую систему. В этой системе каждый элемент находится в постоянном динамическом равновесии, создавая сложную сеть взаимосвязей как между природными компонентами, так и с результатами человеческой деятельности.

Подобно живому организму, полигон функционирует как целостная структура, где каждый элемент влияет на общее состояние всей системы. При этом взаимодействие не ограничивается только внутренними процессами – система активно обменивается веществом и энергией с окружающей средой [13].

Полигон как геоэкологическая система представляет собой сложный механизм постоянного взаимодействия с окружающей средой. Его открытая природа обеспечивает непрерывный обмен веществом и энергией с природными компонентами на всех уровнях [32, 53].

Этот интенсивный обмен охватывает множество природных оболочек. В нижних слоях атмосферы происходит активный газообмен, где тропосфера принимает выбросы биогаза, летучих химических соединений, а также продукты горения при возгораниях на полигоне. Гидросфера испытывает влияние через контакт с поверхностными и подземными водами, которые могут переносить различные загрязняющие вещества. Литосфера взаимодействует посредством контакта с горными породами, которые участвуют в процессах фильтрации и осаждения различных элементов. Педосфера (почвенный покров) также включена в этот обмен, участвуя в процессах фильтрации и поглощения различных веществ. Биосфера испытывает комплексное воздействие через все

эти взаимодействия, что влияет на живые организмы, обитающие в зоне влияния полигона (рисунок 4) [13].

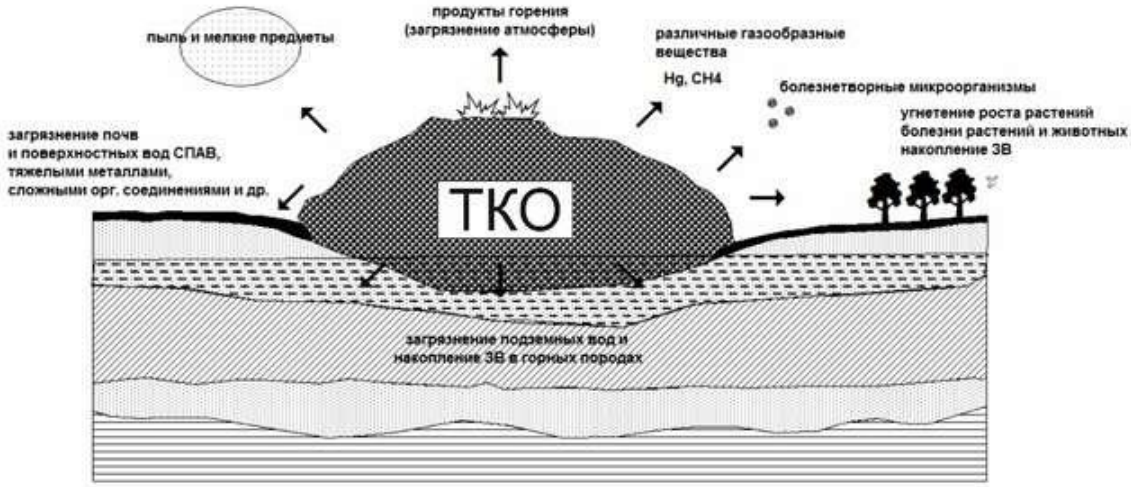

Рисунок 4 – Воздействие полигона ТКО на окружающую территорию [13]

В процессе эксплуатации полигона твёрдых коммунальных отходов формируется сложный комплекс воздействий на окружающую среду. При повседневной работе объекта атмосфера подвергается загрязнению от выхлопных газов техники, поднимающейся при пересыпке изолирующего материала пыли, а также химических веществ, используемых для дезинфекции.

Водные ресурсы также подвергаются негативному воздействию загрязнения. Загрязнение поверхностных вод происходит из-за сброса в них неочищенных сточных вод, в то время как подземные воды могут загрязняться через дренажные системы. Это приводит к проникновению в подземные горизонты жидкостей, несущих в себе опасные элементы, включая тяжёлые металлы, химические вещества и ядовитые соединения. Как следствие, качество подземных вод ухудшается настолько, что они теряют свою пригодность для использования в качестве источника питьевой воды [13, 24].

Усложнение ситуации обусловлено тем, что параметры фильтрата подвержены перманентной динамической трансформации. Эта характеристика требует разработки принципиально нового подхода к проектированию и функционированию систем очистки, в отличие от традиционных промышленных очистных сооружений. Необходимо учитывать множество переменных факторов и обеспечивать эффективность работы в условиях изменяющейся степени загрязнения [25, 48].

Особенности образования и воздействия фильтрата на окружающую среду имеют комплексный характер. В отличие от большинства загрязняющих веществ, некоторые компоненты, такие как тяжёлые металлы (Cu, Ni, Pb, Cd, Cr), демонстрируют нетипичную динамику концентрации, которая определяется не столько временным фактором, сколько степенью разведения фильтрата.

Объём образующегося фильтрата составляет существенную часть от общей массы отходов - в среднем от четверти до половины. Этот показатель варьируется в зависимости от климатических условий региона расположения полигона и влажности отходов. Максимальные объёмы фильтрата формируются в период паводков и осенью, что требует особого внимания к системам сбора и обработки в эти периоды [29, 31].

Воздействие на почвенный покров характеризуется многоаспектностью и комплексностью, охватывая различные стадии антропогенного вмешательства. На этапе строительных работ наблюдается механическое разрушение плодородного слоя почвы, что приводит к утрате её структурно-функциональных характеристик. В процессе последующей эксплуатации антропогенные факторы вызывают химическое загрязнение почвы, что существенно ухудшает её экологическое состояние.

Почвенный покров подвергается воздействию широкого спектра загрязняющих веществ, поступающих из различных источников. Атмосферные выбросы, фильтрационные воды и поверхностные стоки являются основными

каналами поступления поллютантов, что приводит к деградации почвенной экосистемы. Эти процессы нарушают естественные функции почвы, включая её способность к самоочищению, аккумуляции питательных веществ и поддержанию биологического разнообразия.

Таким образом, комплексное воздействие антропогенных факторов на почву приводит к её деградации и утрате ключевых экологических функций, что требует разработки и внедрения комплексных мер по охране и восстановлению почвенного покрова [32].

Таким образом, полигоны ТКО, как действующие, так и закрытые, подчиняются природным законам и становятся частью экосистемы. В отличие от природных процессов, где отходы разлагаются и становятся частью природного цикла, на полигонах происходит накопление отходов. Это требует особого внимания к управлению и контролю.

Чтобы уменьшить негативное влияние полигонов на природу, нужно эффективно контролировать процесс захоронения отходов и постоянно следить за состоянием всех компонентов окружающей среды [36]. Только комплексный подход позволит снизить риски загрязнения и обеспечить экологическую безопасность.

1.3 Территориальная схема обращения с отходами в Санкт-Петербурге и Ленинградской области

Согласно сведениям из Государственного реестра объектов размещения отходов (ГРОРО), в Санкт-Петербурге и Ленинградской области действуют 19 полигонов, предназначенных для утилизации твердых коммунальных отходов. Информация об их точном местонахождении и названиях представлена на специализированной карте, что способствует открытости и мониторингу функционирования указанных объектов (рисунок 5).

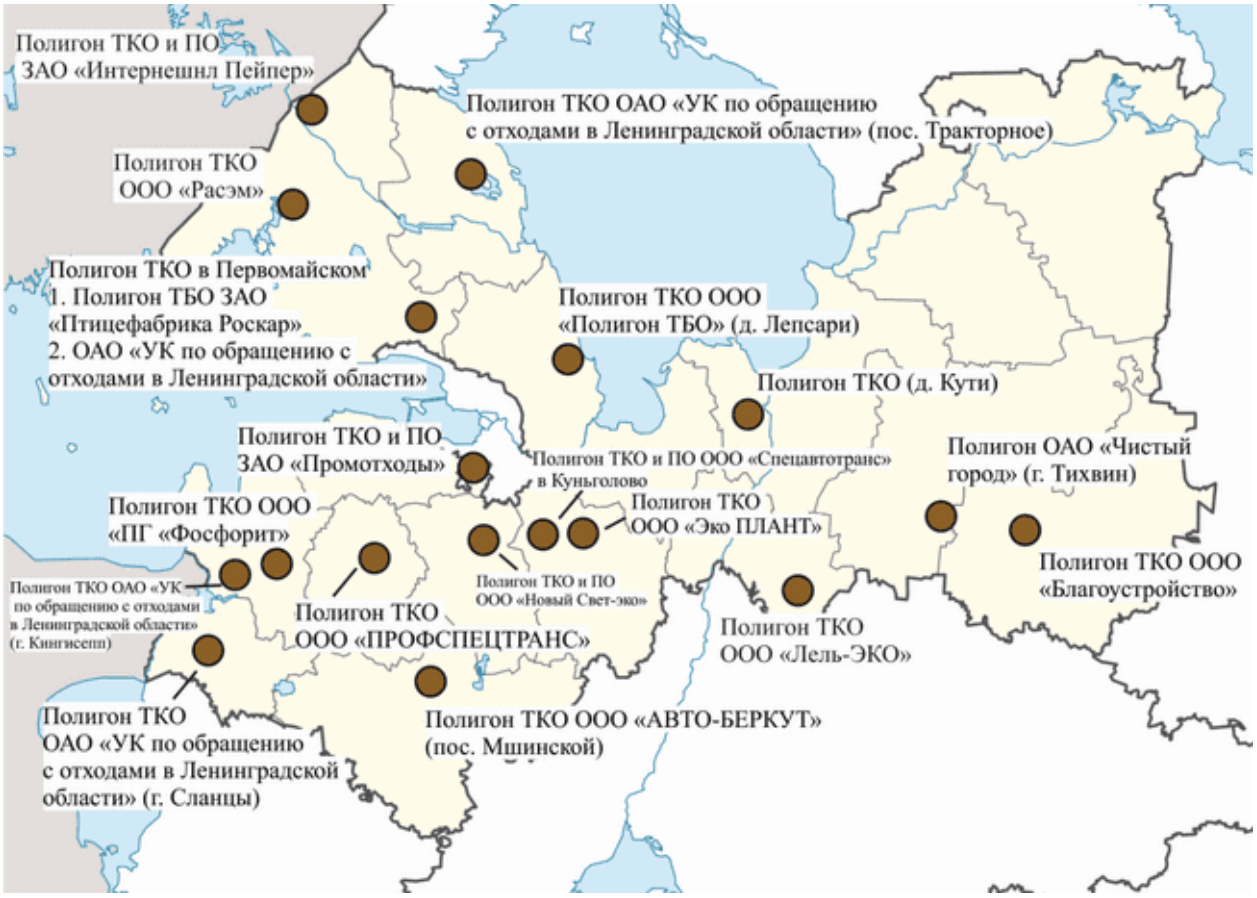

Рисунок 5 – Действующие полигоны Ленинградской области

Полигоны в Ленинградской области представляют собой современные комплексы, предназначенные для централизованного и экологически безопасного захоронения твёрдых коммунальных отходов. Они должны соответствовать строгим требованиям, предъявляемым к объектам размещения отходов.

Основные характеристики полигона, такие как площадь, высота над уровнем земли и глубина котлована, тщательно измеряются и учитываются. Важно контролировать объём захораниваемых отходов при максимальной и гарантированной загрузке, что позволяет эффективно планировать использование полигона.

Общий срок службы полигона рассчитывается с учётом максимальной загрузки, что обеспечивает его рациональное использование на протяжении всего периода эксплуатации. Приём отходов осуществляется круглый год с

применением системы весового контроля, а информация автоматически передаётся в государственную информационную систему учёта ТКО.

На полигонах выполняются комплексные работы по приёму, разравниванию, уплотнению и изоляции отходов. Методы «надвига» и сталкивания используются для захоронения ТКО, что позволяет оптимизировать процесс и обеспечить безопасность окружающей среде [5, 17]. Традиционно в России, включая регионы Санкт-Петербурга и Ленинградской области, доминировала практика утилизации мусора путём его захоронения на полигонах.

1.4 Подходы к утилизации отходов в международном контексте

Концепция нулевого отхода получила широкое распространение в последние годы, особенно в США, странах Азии и государствах ЕС. Суть этой модели заключается в строгом разграничении способов утилизации: горючие материалы направляются на энергетическую переработку, а пригодные для повторного использования – на переработку, исключая их уничтожение.

Основой европейского законодательства в сфере обращения с отходами служит Директива 2008/98/ЕС, принятая 19 ноября 2008 года. Этот документ, объединивший предшествующие нормативные акты, устанавливает четкую систему приоритетов в управлении отходами, которая служит фундаментом для разработки законодательных инициатив и формирования политического курса.

Иерархическая модель управления отходами, закреплённая в Директиве 2008/98/ЕС, предполагает следующие этапы: предотвращение образования отходов, минимизация их количества, повторное использование, переработка и, как крайняя мера, безопасное обращение с остаточными отходами. Данная структура способствует формированию замкнутого цикла использования ресурсов, что является ключевым аспектом устойчивого развития и экологической безопасности.:

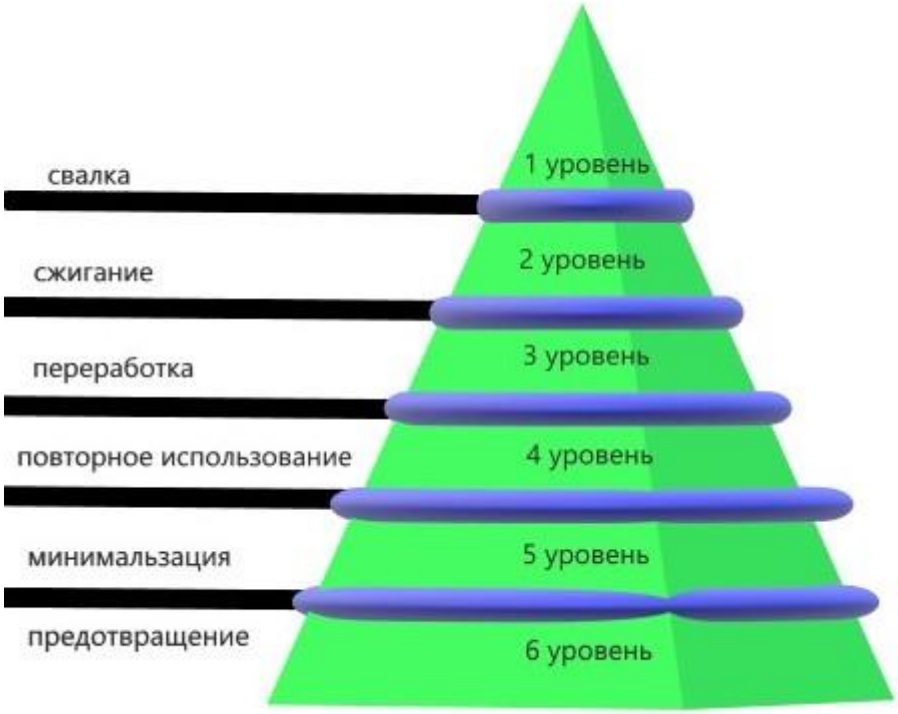

Рисунок 6 – Пирамида методов обращения с отходами

В европейских странах наиболее популярным способом обращения с отходами является их вторичная переработка, которая позволяет использовать их наиболее рационально. В то же время, наименее желательным способом считается захоронение на специальных полигонах.

Недостаток собственных источников энергии стал мощным стимулом для развития технологий по переработке отходов в энергию. Швеция является лидером в этой области, где около половины всех отходов перерабатывается для получения электроэнергии. [15, 19, 33]. Интересно, что Швеция даже покупает отходы у других стран, например, у Великобритании, Норвегии и Ирландии [15, 33].

Европейский Союз установил жесткие ограничения на захоронение определенных категорий отходов. Запрещено размещать на свалках жидкие отходы и материалы с опасными характеристиками:

- способные к взрыву

- вызывающие коррозию
- поддерживающие окисление
- склонные к возгоранию в условиях полигона

Под ограничения также попали отдельно собранные медицинские отходы, подлежащие переработке материалы и автомобильные шины.

Согласно директиве, все полигоны классифицируются по трем основным типам: для опасных, неопасных и инертных отходов, включая строительный мусор [15, 19].

В Японии применяется прогрессивная система утилизации, где 80% бытовых отходов подвергаются термической переработке, включая плазменную газификацию. Отходы сортируются на четыре основные группы: пригодные для сжигания, несгораемые, вторичные материалы и крупногабаритный мусор. Вторичные отходы подразделяются на бумагу, пластик, стекло и металл. Сбор осуществляется по графику: пластик принимают по субботам, стекло – по пятницам, при этом каждая префектура организует вывоз самостоятельно.

Нарушение правил сортировки или вывоза мусора может привести к штрафам или даже тюремному заключению. В общественных местах практически нет урн, так как ответственность за мусор лежит на каждом человеке [22].

В Соединённых Штатах Америки с 1990-х годов реализуется программа, которая базируется на схожих принципах и известна как концепция 3R («Сокращай, используй повторно, перерабатывай»). Эта инициатива нацелена на уменьшение количества отходов, их повторное применение и переработку.

В Соединенных Штатах распределение методов утилизации отходов выглядит следующим образом: 35% проходит переработку, 16% сжигается, а 49% отправляется на полигоны. Примечательно, что некоторые свалки оснащены заводами по производству сжиженного газа из отходов, чья производительность достигает 13 кубических метров [35].

После того как Китай в 2017 году запретил импорт пластиковых отходов, Южная Корея столкнулась с резким ростом объемов непереработанного пластика. Недостаточная мощность местных перерабатывающих предприятий привела к увеличению экспорта пластиковых отходов в страны Юго-Восточной Азии, включая Таиланд и Филиппины.

Однако в этих государствах отсутствует развитая инфраструктура для переработки, что приводит к бесконтрольному складированию пластика на необорудованных площадках. Такая ситуация создает серьезную угрозу для экосистемы: загрязняются почвы, воздух, водоемы, наносится вред флоре и фауне [39, 42].

ГЛАВА 2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

2.1 Системный подход к организации экологического мониторинга

Экологический мониторинг окружающей среды выступает ключевым инструментом для оценки состояния природы и выявления текущих тенденций в данной сфере. Этот комплексный подход не только позволяет отслеживать текущее состояние экосистем, но и способствует разработке эффективных природоохранных стратегий, а также их успешной реализации [41, 43, 47].

По своей сути, экологический мониторинг представляет собой систематическую программу регулярных исследований, направленную на всестороннее изучение состояния окружающей среды. В рамках этой программы особое внимание уделяется таким важным аспектам, как загрязнение атмосферного воздуха, водных ресурсов и уровень шумового воздействия. Все эти факторы тщательно анализируются, поскольку они могут представлять серьёзную угрозу для здоровья человека.

Экологический мониторинг служит важнейшим инструментом для контроля состояния окружающей среды. Его основная задача — не просто анализ существующих достижений в сфере охраны природы, но и оперативное обнаружение новых экологических вызовов.

Научное значение мониторинга заключается в систематическом сборе и анализе данных, которые превращаются в надежную основу для принятия решений. Эти результаты становятся краеугольным камнем экологической политики, определяя её главные направления.

По сути, экологический мониторинг представляет собой первый этап в процессе познания, опирающийся на точные научные методы (см. рисунок 7). Благодаря регулярным наблюдениям и измерениям формируется достоверная информация, критически важная для человечества.

Полученные данные позволяют экспертам не только оценивать текущее состояние экосистем, но и прогнозировать возможные угрозы. Это существенно повышает эффективность управленческих решений, способствующих сохранению экологического равновесия и устойчивому развитию.

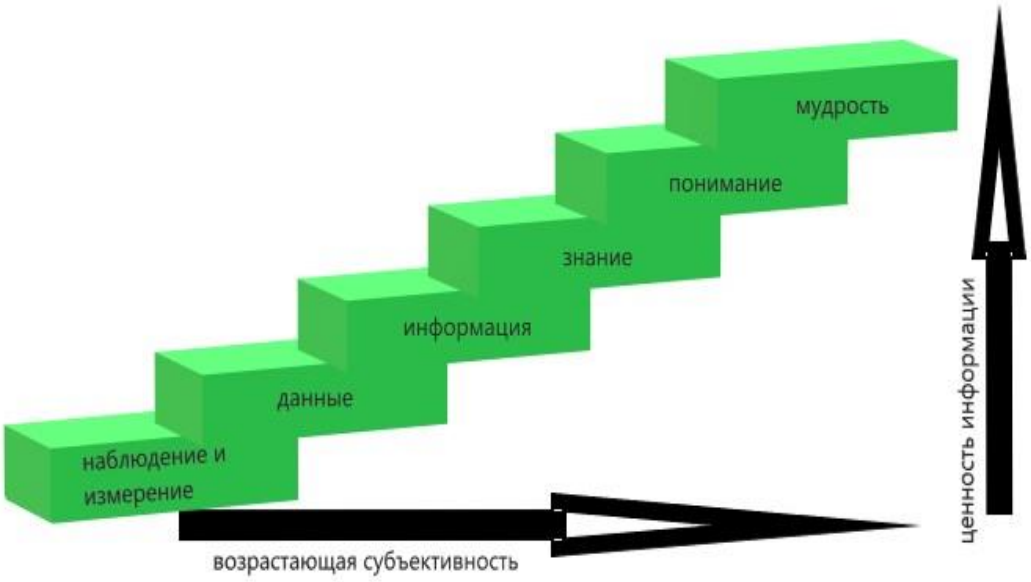

Рисунок 7 – Лестница познания

Несмотря на то, что схема, представленная на рисунке 7, не охватывает все аспекты, она четко показывает важность экологического мониторинга в современном мире. Его значение возрастает по мере увеличения численности населения и усиления негативного воздействия человека на природу.

Исторический опыт подтверждает, что рост населения и интенсификация хозяйственной деятельности часто приводят к серьезным экологическим проблемам. Так, в США во время промышленной и сельскохозяйственной революций отходы десятилетиями складировались бесконтрольно, вплоть до конца 1960-х годов. К сожалению, подобная практика до сих пор характерна для многих развивающихся стран.

Мониторинг окружающей среды помогает людям увидеть связь между их действиями и экологическими последствиями. Это сложный процесс,

требующий объединения знаний из разных областей науки. Экологи должны обладать компетенциями в химии, физике, биологии, математике, статистике и информатике, что делает мониторинг эффективным инструментом поддержания экологического равновесия [36].

2.2 Комплексная оценка воздействия полигонов ТКО на компоненты природной среды

Согласно Федеральному закону №89-ФЗ (глава 3, статья 12) [1], на территории полигонов ТКО и в зоне их влияния обязателен экологический мониторинг.

Это система наблюдений за состоянием окружающей среды, которая включает сбор и анализ данных о природных объектах, находящихся под воздействием полигона.

Важный аспект мониторинга — контроль за соблюдением технологических требований при эксплуатации полигона ТКО, что обеспечивает безопасность окружающей среды и эффективную работу объекта [22].

Особое внимание уделяется разработке оперативных мер по реагированию на чрезвычайные ситуации, такие как затопление или возгорание, которые могут вызвать дополнительное загрязнение территории. При этом ключевой аспект работы — не только отслеживание текущего состояния территорий, но и прогнозирование возможных изменений в природных экосистемах под влиянием деятельности полигона.

Собранная информация формирует обширную базу данных, которая предоставляется государственным органам, местным властям, а также заинтересованным юридическим и физическим лицам [2].

Результатом проведённого экологического мониторинга становится разработка и оформление программы производственного экологического

мониторинга (ПЭМ), а также составление детального отчёта о полученных результатах. Эти документы отражают текущее состояние природной среды на территории полигона и прилегающих зонах, подверженных его влиянию, что позволяет принимать обоснованные управленческие решения и разрабатывать необходимые природоохранные мероприятия.

Программа производственного экологического мониторинга (ПЭМ) представляет собой структурированный документ, включающий следующие ключевые разделы:

1. Вводная часть, содержащая исчерпывающую информацию об объекте размещения отходов, его характеристиках и особенностях функционирования.

2. Стратегический раздел, определяющий основные цели и задачи наблюдений за состоянием окружающей среды как на территории объекта, так и в зоне его экологического влияния.

3. Информационно-методическая база, включающая перечень источников данных, использованных при разработке программы мониторинга.

4. Аналитический блок, обосновывающий выбор компонентов природной среды и природных объектов, требующих систематического наблюдения на территории размещения отходов и в зоне их воздействия.

5. Методологический раздел, содержащий обоснование выбора наблюдаемых показателей, их периодичности и значимости для оценки состояния окружающей среды, а также критериев, определяющих их актуальность.

6. Практическая часть, включающая обоснование выбора точек отбора проб и мест проведения инструментальных измерений, что обеспечивает репрезентативность получаемых данных.

7. Отчетный раздел, определяющий структуру и содержание документа, отражающего результаты мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды на территории объекта и в зоне его воздействия.

8. Библиографический список, включающий все использованные при разработке программы источники информации.

9. Дополнительные материалы, представленные в виде приложений и содержащие вспомогательную информацию, необходимую для полного понимания и реализации программы мониторинга.

Первый раздел программы фокусируется на формальных аспектах, включающих реквизиты официального обращения в Росприроднадзор. Основополагающим элементом здесь выступает характеристика объекта, подготовленная по результатам проведённой инвентаризации. Прочие сведения об объекте носят факультативный характер и включаются по усмотрению разработчика программы.

Второй раздел определяет стратегические направления мониторинга, подробно описывая цели и задачи наблюдений. Они охватывают как саму территорию полигона, так и область его экологического воздействия.

Третий раздел создает информационную основу программы. В него входят проектная документация объекта, результаты экологических исследований, выполненных до начала использования территории как полигона, а также материалы предшествующих мониторинговых исследований.

В аналитическом блоке (четвёртый раздел) содержится детальная информация о современном состоянии природной среды в районе расположения объекта и особенностях его влияния на окружающую экосистему. На основе проведенного анализа составляется список компонентов природной среды, нуждающихся в постоянном контроле и наблюдении.

Современная система экологического контроля на полигонах отходов представляет собой многокомпонентный механизм, направленный на всестороннюю оценку воздействия объекта на окружающую среду.

В основе мониторинга лежит комплексная система наблюдений, которая включает в себя четыре основных аспекта: контроль подземных вод через специальные скважины; мониторинг состояния поверхностных водоёмов;

непрерывный контроль качества воздуха; систематическое наблюдение за изменениями в почве [5, 6, 7, 8, 10, 23].

Для обеспечения полной картины воздействия полигона на окружающую среду система мониторинга расширяется дополнительными направлениями исследований [23]. Особое внимание уделяется оценке шумового загрязнения в прилегающей зоне, что особенно важно для минимизации негативного влияния на близлежащие территории. Проводится тщательный радиационный контроль поступающих отходов, а также детальный анализ их фракционного и химического состава.

Ключевым аспектом мониторинга выступает наблюдение за уплотнением отходов, которое помогает избежать неравномерного оседания тела полигона и гарантирует его стабильность. Особое внимание уделяется корректному формированию внешнего склона полигона. Кроме того, регулярно проводится патрулирование санитарно-защитной зоны. Это необходимо для предотвращения появления незаконных свалок и поддержания надлежащего состояния территории.

При разработке программы мониторинга особое внимание уделяется определению перечня показателей, которые могут претерпеть изменения под влиянием размещенных отходов. Для каждого параметра разрабатывается индивидуальный график наблюдений и методика измерений, обеспечивающая необходимую точность результатов.

При изучении качества воздуха каждые три месяца выполняется анализ проб на наличие восьми основных загрязнителей: метана, сероводорода, аммиака, угарного газа, бензола, трихлорметана, тетрахлорметана и хлорбензола [23]. Что касается контроля качества поверхностных вод, то на текущий момент точный список проверяемых параметров не определён.

В системе экологического мониторинга особое внимание уделяется всестороннему анализу подземных вод, который проводится ежемесячно и включает комплексную оценку различных показателей. При этом исследуются

как неорганические компоненты (ионы аммония, нитриты, нитраты, гидрокарбонаты, катионы кальция), так и различные формы металлов (железо, хром, медь, свинец, ртуть). Важным элементом анализа является определение содержания органических загрязнителей (нефтепродуктов, фенолов, стирола) [10], а также показателей общего загрязнения (ХПК, БПК, сухой остаток) [23]. Особое значение придаётся оценке органолептических характеристик воды (запаха и мутности), а также присутствию санитарно-показательных микроорганизмов [11].

Исследование почв включает комплексный анализ для обнаружения опасных веществ. Специалисты определяют концентрацию тяжелых металлов и их соединений, нефтепродуктов и прочих органических загрязнителей, а также токсичных элементов (мышьяка, цианидов). Существенное значение имеет радиационный контроль и микробиологический анализ, который охватывает выявление коли-форм, энтерококков, болезнетворных бактерий и паразитарных организмов (гельминтов и простейших) [10].

Животный мир изучается посредством визуального мониторинга во время обследований территории вокруг объекта размещения отходов. В роли биоиндикаторов выступают различные виды животных из зоны влияния полигона: рыбы из местных водоемов, а также млекопитающие и земноводные.

Для обеспечения экологической безопасности ведется постоянный надзор за состоянием окружающей среды вокруг полигона. Наблюдение за атмосферным воздухом ведется в ключевых зонах, включая участки с завершенной эксплуатацией, границы санитарной зоны и области вероятного вредного воздействия. При определении расположения точек контроля учитывается преобладающее направление ветра и особенности землепользования в окрестностях полигона [3,5,23].

Изучение подземных вод начинается с оценки структуры водоносных слоев и водонепроницаемых пород. В случае обнаружения загрязнений, проводится детальное гидрогеологическое исследование местности [23].

Оценка состояния почвы производится на внешней границе земельного участка полигона, что позволяет выявить воздействие объекта на окружающие территории [16].

Регулярные исследования растительности проводятся в течение всего вегетационного периода. Специалисты изучают все ярусы растительного покрова, от трав до деревьев, обращая внимание на признаки угнетения растений. Это позволяет оперативно выявлять негативное воздействие полигона на экосистему и принимать меры для его минимизации.

Надзор за поверхностными водами осуществляется комплексно: точки отбора проб размещаются как до, так и после полигона по течению водоемов. Мониторинг подземных вод осуществляется с использованием системы скважин, что обеспечивает контроль за влиянием объекта на водный горизонт.

Седьмая глава устанавливает требования к отчетной документации по результатам мониторинга. В ней детально описывается структура и содержание сведений, которые должны быть включены в итоговый документ, показывающий состояние окружающей среды как на территории полигона, так и в зоне его воздействия [5].

2.3 Иностранный опыт организации мониторинга полигонов твердых отходов

Несмотря на универсальность основных целей и задач экологического мониторинга, каждая страна выбирает свой уникальный путь их достижения. Различия проявляются не только в применяемых методиках и перечнях показателей, но и в самом подходе к определению приоритетных объектов мониторинга.

В Австралии ключевым документом при работе с полигонами твёрдых коммунальных отходов является документ «Экологический менеджмент полигонов» (Environmental management of landfill facilities) [38, 53]. Особого

внимания заслуживает подход к организации мониторинга, где основное внимание уделяется не просто фиксации существующего воздействия на окружающую среду, а оценке эффективности мер по его минимизации. При разработке программы мониторинга учитываются все потенциальные риски для экосистемы, что позволяет создать комплексную систему контроля, направленную на практическое улучшение экологической ситуации.

Австралийская система мониторинга полигонов твёрдых бытовых отходов представляет собой многокомпонентный комплекс, охватывающий все основные экологические параметры: от контроля фильтрата до анализа воздуха, включая мониторинг подземных и поверхностных вод, а также дождевых стоков.

При планировании полигона используется упреждающий подход для снижения негативного влияния на природу. Центральным элементом становится создание детальной модели площадки, которая прогнозирует потенциальные экологические риски. В модели находят отражение местные геологические характеристики, базовые уровни загрязняющих веществ, климатические и природные особенности местности. На основе этого анализа формируется набор природоохранных мер, учитывающий особенности конкретного объекта. Программа мониторинга учитывает особенности расположения полигона, что позволяет адаптировать модель и вносить необходимые изменения в конструкцию, управление и эксплуатацию объекта. Такой подход обеспечивает эффективное сочетание превентивных мер и оперативного реагирования на экологические проблемы.

Мониторинг подземных вод основан на уникальной модели участка, которая учитывает начальные характеристики водного объекта. Программа наблюдений позволяет оценить как текущее, так и потенциальное влияние полигона на подземные водные слои.

Контроль состояния поверхностных вод осуществляется через сеть точек отбора, расположенных выше и ниже полигона по течению. Это позволяет

определить воздействие объекта и выявить влияние внешних факторов на водный объект.

При анализе поверхностных вод исследуются различные показатели: pH, содержание растворённого кислорода, электропроводность, количество взвешенных твёрдых частиц, концентрация аммонийного азота и общего органического углерода. Если водный объект используется для питьевого водоснабжения, отдыха или создания водных запасов, особое внимание уделяется наличию термостойких колиформных бактерий.

Система мониторинга фильтрата — это проактивный инструмент экологического контроля, который позволяет заранее выявлять риски воздействия на подземные воды. Такой подход даёт возможность своевременно корректировать управленческие решения и предотвращать негативное воздействие на окружающую среду.

В рамках австралийской системы контроля фильтрата проводится всесторонняя оценка различных показателей. Эксперты анализируют электропроводность и pH, уровень и количество жидкости в стояке фильтрата, степень минерализации и содержание твёрдых взвесей. Также определяется ионный состав с выявлением главных катионов и анионов, проверяется наличие растворённого органического вещества, аммиака и питательных веществ. Проводится анализ тяжёлых металлов и исследование органических загрязнителей, включая фенолы, нефтяные углеводороды и пестициды.

Частота измерений зависит от типа показателя. Основные показатели (электропроводность, pH и уровень жидкости в стояке фильтрата) проверяются каждые три месяца, объём фильтрата контролируется непрерывно, а остальные параметры оцениваются раз в год.

Дополнительно измеряется общая минерализация, содержание калия, а также наличие хлорорганических и фосфорорганических пестицидов, полициклических ароматических углеводородов. Все эти показатели контролируются в полном соответствии с государственными стандартами.

Мониторинг подземных вод включает оценку ряда ключевых показателей, таких как pH, окислительно-восстановительный потенциал, температура, уровень воды и степень минерализации. Особое внимание уделяется анализу ионного состава, включая основные катионы и анионы (кальций, магний, калий, натрий, хлориды, фториды, сульфаты), а также измерению бикарбонатной и карбонатной щёлочности.

Регулярно проверяется наличие общего органического углерода, аммиака, нитратов, нитритов, фосфора и других питательных веществ. Ежегодно проводится анализ содержания металлов (алюминий, мышьяк, барий, кадмий, хром, кобальт, медь, свинец, марганец, ртуть, никель, цинк) и органических загрязнителей (фенолы, нефтяные углеводороды, хлорорганические и фосфорорганические пестициды, полициклические ароматические углеводороды, эфиры фталевой кислоты). Другие показатели оцениваются каждые три месяца.

Контроль качества воздуха (свалочного газа) на полигонах проводится с учётом их специфики. Пробоотбор осуществляется на поверхности и в подземных зонах, включая закрытые помещения. Такой подход позволяет оперативно реагировать на возможные угрозы и снижать вредное воздействие на окружающую среду.

Экологический контроль включает постоянный мониторинг уровня метана в воздухе как на поверхности полигона, так и в специальном помещении, расположенном в 250 метрах от объекта. Одновременно ежемесячно анализируется концентрация углекислого газа в закрытом помещении. Для полной оценки газовой ситуации применяется комплексный подход с ежеквартальным контролем содержания метана и углекислого газа в подповерхностном слое. При выявлении отклонений от норм действует срочная система оповещения Австралийского управления по охране окружающей среды.

ГЛАВА 5. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Основываясь на полученных сведениях, для результативного уменьшения уровня содержания тяжёлых металлов в почвах, расположенных рядом с полигонами твёрдых коммунальных отходов, рекомендуется использовать комплексный подход. Он включает в себя как непосредственную очистку загрязнённых участков, так и меры по предотвращению дальнейшего распространения загрязняющих веществ.

В первую очередь следует внедрить систему фитомелиорации с использованием растений-гипераккумулянтов, которые способны накапливать тяжёлые металлы в своих тканях. Этот метод не только позволяет постепенно извлекать загрязняющие вещества из почвы, но и способствует восстановлению её плодородия. После того как концентрация металлов в биомассе растений достигнет максимума, их необходимо утилизировать с соблюдением всех экологических норм.

Чтобы снизить негативное влияние полигонов на окружающую среду, нужно создать многоуровневую систему защитных барьеров. Ключевым элементом этой системы является противофильтрационный экран, который устанавливается по периметру объекта. Он включает в себя дренаж и сбор фильтрата. Это поможет предотвратить попадание загрязняющих веществ в грунтовые воды и соседние территории.

Еще один важный шаг — это использование специальных материалов, которые могут захватывать вредные металлы из почвы, делая их безопасными. Особенно хорошо работают природные материалы, такие как цеолиты и бентонитовые глины. Их можно равномерно рассыпать по загрязненным местам и затем глубоко вспахать землю.

Также рекомендуется создать защитную зону вокруг загрязненных участков. В этой зоне можно посадить многолетние растения, которые будут действовать как барьер, предотвращая распространение вредных веществ.

Важно регулярно проверять состояние почвы в этой зоне и следить за уровнем вредных металлов. Если их количество превысит норму, нужно будет принять меры для их нейтрализации.

Для повышения эффективности всех мероприятий необходимо внедрить автоматизированную систему контроля состояния почв как на территории полигона, так и в прилегающих районах. Это позволит оперативно отслеживать динамику загрязнения и корректировать применяемые методы очистки в зависимости от полученных данных.

Заключение

1. По современным литературным источникам проведен анализ основного воздействия полигонов ТКО на компоненты окружающей среды. Установлено, что в процессе эксплуатации полигонов ТКО, как в России, так и в мире, формируется сложный комплекс воздействий на окружающую среду: загрязнение атмосферы от выхлопных газов техники, поднимающейся при пересыпке изолирующего материала, а также химических веществ, используемых для дезинфекции или при выделении свалочного газа; загрязнение поверхностных и подземных вод фильтратом через дренажные системы; загрязнение почвенного покрова, поступающих из различных источников. Атмосферные выбросы, фильтрационные воды и поверхностные стоки являются основными каналами поступления поллютантов, что приводит к деградации почвенной экосистемы.

2. Изучен российский и иностранный системный подход мониторинга полигонов ТКО, который заключается в наблюдении за природными объектами, находящимися под воздействием полигона, включая сбор и глубокий анализ данных контроля за соблюдением технологических требований при эксплуатации полигонов. В основе мониторинга лежит комплексная система наблюдений, которая включает в себя четыре основных аспекта: контроль подземных вод через специальные скважины; мониторинг состояния поверхностных водоёмов; непрерывный контроль качества воздуха; систематическое наблюдение за изменениями в почве. Представлен передовой опыт Европы, Северной Америки, Японии и Австралии. Следует отметить, что в данных странах основные показатели загрязнения почвенной среды вблизи полигона оцениваются каждые три месяца, в то время как в РФ – каждые три года.

3. Исследовано эколого-токсикологическое состояние почвенного покрова в зонах воздействия двух полигонов ТКО Ленинградской области.

Изучение индекса загрязнения почв тяжелыми металлам по кратности концентрации металла к ПДК свидетельствовало, что на двух полигонах наблюдалась общая тенденция – максимальное превышение ПДК изучаемых металлов до 500 метров от границы полигона и снижение к 1,5 км от полигона. Все изученные металлы на двух полигонах по их концентрации в почве расположились в следующий убывающий ряд: Mn > Cu > Ni > Zn > Cr > Co > Cd.

4. Изучение распределения тяжелых металлов по профилю почв показало, что максимальная концентрация приходилась на верхний гумусовый слой 0-10 см, а с глубины 20 см – резко снижалась.

5. Индекс загрязнения почв тяжелыми металлами, исходя из кратности ПДК возле полигона №1 до 100 метров: по цинку и кадмию – неопасный, по марганцу и свинцу – допустимый, по меди – умеренно-опасный, по никелю – высокоопасный, по хрому, кобальту – чрезвычайно опасный.

Индекс загрязнения почв возле полигона №2 до 100 м: по цинку, марганцу и свинцу – допустимый, по кадмию – умеренно опасный, по никелю и хрому – чрезвычайно опасный.

Сравнивая полигон №1 и №2, установлена тенденция резкого снижения количества изученных металлов на расстоянии от 500 метров и далее до допустимых и неопасных концентраций, тогда как на полигоне №1 концентрация металлов оставалась высокой до 1 км от полигона, что связано с разным растительным покровом.

6. По суммарному загрязнению почв ТМ на полигоне №1 до 0,5 км от полигона выделена опасная степень загрязнения, далее до 1 км следует умеренно-опасная степень, а от 1,5 км – допустимая. На полигоне 2 – до 200 м – опаная степень загрязнения, до 500 м – умеренно опасная, а далее – допустимая.

7. Основные рекомендации даны в главе 5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Об отходах производства и потребления: Федеральный закон от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ // КонсультантПлюс – надежная правовая поддержка [Электронный ресурс]. – Официальный сайт компании «Консультант Плюс». – М.,2015. –Режим доступа: http://www.consultant.ru/

2 Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10 января 2002 года № 7-ФЗ // КонсультантПлюс – надежная правовая поддержка [Электронный ресурс].– Официальный сайт компании «Консультант Плюс».– М.,2015.–Режим доступа: http://www.consultant.ru

3 Постановление Правительства РФ от 26 мая 2016 № 467 «Об утверждении Положения о подтверждении исключения негативного воздействия на окружающую среду объектов размещения отходов» – 2016. – URL: https://docs.cntd.ru/document/420356778

4 Загрязнение окружающей среды отходами производств. – Текст: электронный // Молодой ученый. – 2018. – URL: https://moluch.ru/archive/211/51589/.

5 Закон Санкт-Петербурга от 29.12.2017 N 882-162 "Об утверждении Соглашения о взаимодействии между Ленинградской областью и Санкт-Петербургом по вопросу обращения с отходами производства и потребления" (принят ЗС СПб 20.12.2017) // СПС КонсультантПлюс

6 Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 8 декабря 2020 г. № 1030 «Об утверждении Порядка проведения собственниками объектов размещения отходов, а также лицами, во владении или в пользовании которых находятся объекты размещения отходов, мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды на территориях объектов размещения отходов и в пределах их воздействия на окружающую среду» [Электронный ресурс]. – 2021. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012280004

7 Приказ Минприроды России от 25 февраля 2010 № 49 «Об утверждении Правил инвентаризации объектов размещения отходов» [Электронный ресурс]. – 2010. – URL: https://docs.cntd.ru/document/902205003

8 ГОСТ Р 56060–2014 Производственный экологический мониторинг. Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды на территориях объектов размещения отходов. – М.: Стандартинформ, 2015. – 6 с.

9 ГОСТ Р 56063–2014 Производственный экологический мониторинг. Требования к программам производственного экологического мониторинга. – М.: Стандартинформ, 2019. – 7 с.

10 СанПиН 2.1.3684–21 «Санитарно–эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно– противоэпидемических (профилактических) мероприятий» [Электронный ресурс]. – 2021. – URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/files/news/SP2.1.3684–21_territorii.pdf

11 СП 2.1.5.1059–01 «Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения» [Электронный ресурс]. – 2001. – URL: https://docs.cntd.ru/document/901794517

12 Бюллетень Счетной палаты №9 (274) 2020 г.. — Текст : электронный // Счетная палата Российской Федерации : [сайт]. — URL: https://ach.gov.ru/upload/iblock/462/46234b3e3624fcccbb8bace5c892f2f4.pdf (дата обращения: 13.03.2022).

13 Ветошкин А.Г., Таранцева К.Р. Технология защиты окружающей среды (теоретические основы). Учебное пособие. – Пенза: Пенз. технол. ин–т, 2004. – 249 с.

14 Государственный реестр объектов размещения отходов. — Текст : электронный // Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия : [сайт]. — URL: http://www.fcao.ru/groro

15 Директива Европейского Парламента и Совета Европейского Союза 2008/98/ЕС от 19 ноября 2008 г. «Об отходах и отмене ряда Директив»

16 Директива № 1999/31/ЕС Совета Европейского Союза «По полигонам захоронения отходов» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru

17 Единая концепция обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области (с возможностью разделения потоков ТКО). — Текст: электронный // Невский экологический оператор: [сайт]. — URL: https://spb-neo.ru/dokumentatsiya/edinaya-kontseptsiya-obrashcheniya-s-tko/ (дата обращения: 17.02.2022).

18 Жизнь после бака: как сейчас выглядит система утилизации отходов. — Текст: электронный // РБК: Тренды: [сайт]. — URL: https://trends.rbc.ru/trends/green/cmrm/60ad10399a794783c51ea200

19 Завизион, Ю. В. Геоэкологическая оценка состояния полигона захоронения твердых коммунальных отходов как элемента природно-техногенной системы : специальность 25.00.36 «Геоэкология (строительство и ЖКХ)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Завизион Юлия Владимировна ; Пермский национальный исследовательский политехнический университет. — Пермь, 2019. — 168 с. — Текст : непосредственный.

20 Зинюков, Ю. М. Мониторинг природной среды в районе полигона ТБО ООО «КАСКАД» (Воронежская область) / Ю. М. Зинюков, В. А. Валяльщиков. — Текст: непосредственный // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2014. № 4. — Воронеж: 2014. — С. 98-103.

21 «Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов» [Электронный ресурс]. – 1996. – URL: http://docs.cntd.ru/document/1200006959

22 Как в Японии утилизируют бытовые отходы? — Текст: электронный // Корпорация ЭКОПОЛИС: [сайт]. — URL: https://www.ecopoliscorp.com/about/projects/kak-v-yaponii-utiliziruyut-bytovye-otkhody/

23 Макаров, П. В. Совершенствование системы обращения с твердыми коммунальными отходами: специальность 08.00.05 ««Экономика и управление народным хозяйством» (экономика природопользования)»: диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Макаров Павел Вячеславович; ФГБОУ ВО «Государственный университет управления». — Москва, 2016. — 136 с. — Текст: непосредственный.;

24 Масликов В. И., Чусов А. Н., Молодцов Д. В. Исследования состава биогаза на полигоне твердых бытовых отходов // Безопасность в техносфере. 2013. №. 6. С. 24-28. DOI: https://doi.org/10.12737/2158

25 Метан с полигонов ТБО: возможности сокращения выбросов, совершенствования сбора и утилизации. — Текст: электронный // Global Methane Initiative: [сайт]. — URL: https://www.globalmethane.org/documents/landfill_fs_rus.pdf

26 Методические рекомендации по организации проведения и объему лабораторных исследований, входящих в комплекс мероприятий по производственному контролю над обращением с отходами производства и потребления. – Текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – 2003. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200041289.

27 Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды на территориях объектов размещения отходов. – Текст: электронный // Консорциум кодекс. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200111618.

28 Отбор проб воды, воздуха и почвы: правила и рекомендации. – Текст: электронный // Ecostandard.journal. – URL:

https://journal.ecostandardgroup.ru/eco/praktikum/otbor-prob-vody- vozdukha-i-pochvy-pravila-i-rekomendatsii/.

29 Поваров А. А., Селиванова Н. В., Трифонова Т. А. и др. Очистка фильтрационных вод полигонов твердых бытовых отходов // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. №1-3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ochistka-filtratsionnyh-vod-poligonov-tverdyh-bytovyh-othodov

30 Политика zero waste: насколько эффективно мегаполисы борются с мусором. — Текст: электронный // РБК: Тренды: [сайт]. — URL: https://trends.rbc.ru/trends/green/61bafb2e9a79477d0ebe6296

31 Рекомендации по сбору, очистке и отведению сточных вод полигонов захоронения твердых бытовых отходов (разработаны в соответствии с нормативными материалами по охране окружающей среды). М., 2003. 49 с.;

32 Слюсарь, Н. Н. Теория, методы и технологии обеспечения геоэкологической безопасности полигонов захоронения твердых коммунальных отходов на постэксплуатационном этапе: специальность 25.00.36 «Геоэкология (строительство и ЖКХ)» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Слюсарь Наталья Николаевна ; Пермский национальный исследовательский политехнический университет. — Пермь, 2019. — 260 с. — Текст: непосредственный.

33 Соколова О. Г., Полежаева М. В., Чухарева Е. В. Формирование модели управления твердыми коммунальными отходами // ЭТАП. 2019. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-modeli-upravleniya-tverdymi-kommunalnymi-othodami

34 Федотова О.В., Демичева Т.С. Загрязнение земель твердыми коммунальными (бытовыми) отходами как проблема XXI века // Вестник Белгородского юридического института МВД России имени И.Д. Путилина. 2019. № 2. С. 10-14.

35 Чалганова А.А. Устойчивое развитие и проблема управления твердыми бытовыми отходами в России // Перспективы науки. 2016. № 2 (87). С. 135-139.

36 Шарова О. А., Бармин А. Н. Экологический мониторинг на полигонах твердых бытовых и промышленных отходов // Региональные геосистемы. 2013. №3 (146). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskiy-monitoring-na-poligonah-tverdyh-bytovyh-i-promyshlennyh-othodov

37 Boyes B. M., Linch L. D., Pearce D. M., Kolka V. V., Nash D. J. The Kola Peninsula and Russian Lapland: A review of Late Weichselian glaciation. Quaternary Science Reviews. 2021. V 267. 107087.

38 David C. Wilson. The Global Waste Management Outlook / International Solid Waste Association, Vienna, Austria, 2015.

39 Environmental management of landfill facilities [Electronic resource]. – URL: https://www.epa.sa.gov.au/files/4771343_guide_landfill.pdf

40 FAO and UNEP. 2021. Global assessment of soil pollution: Report. Rome. Электронный ресурс: https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cb4894en/

41 Gadd G.M. Transformation and mobilization of metals, metalloids, and radionuclides by microorganisms. In Biophysico-chemical processes of heavy metals and metalloids in soil environments. Wiley: Hoboken, NJ, USA, 2007; P. 53–96.

42 Izydorczyk G., Mikula, K., Skrzypczak D., Moustakas K., Witek-Krowiak A., Chojnacka K. Potential environmental pollution from copper metallurgy and methods of management. Environ. Res. 2021. V. 197: 111050.

43 Jacoby R., Peukert M., Succurro A., Koprivova A., Kopriva S. The role of soil microorganisms in plant mineral nutrition—current knowledge and future directions // Front. Plant Sci. 2017. V.8. P. 1617.

44 Korneykova M., Nikitin D., Myazin V. Qualitative and Quantitative Characteristics of Soil Microbiome of Barents Sea Coast, Kola Peninsula // Microorganisms 2021, V. 9. P. 2126

45 Martin, M. H., and P. J. Coughtrey, Biological Monitoring of Heavy Metal Pollution: Land and Air: Applied Science Publishers, 1982.

46 Park S. Factors influencing the recycling rate under the volume-based waste fee system in South Korea //Waste Management. – 2018. – T. 74. – C. 43-51.

47 Somashekaraiah B.V. Phytotoxiciti of cadmium ions on germinating seedlings of mung bean (Phaseolus vulgaris): Involvement of lipid peroxides in chlorophyll degradation // Physiology Plantarum. 1992. Vol. 85. № 1. P. 85-89.

48 Superson J., Huber M., Zgłobicki W.Conditions of development of structural relief in crystalline rocks (case study: Murmansk Upland and Kandalaksha region, Kola Peninsula, Russia) // Landform Analysis. 2013. Vol. 22. P. 103–109.

49 Tchounwou, P.B., Yedjou, C.G., Patlolla, A.K., Sutton, D.J. (2012). Heavy Metal Toxicity and the Environment. // Molecular, Clinical and Environmental Toxicology. 2012. Vol 101. P 133-164.

50 Tons of waste dumped. — Текст : электронный // The world counts : [сайт]. — URL: https://www.theworldcounts.com/challenges/planet-earth/state-of-the-planet/world-waste-facts/story

51 United, Nations Environmental monitoring and reporting by enterprises: Eastern Europe, Caucasus and Central Asia / Economic Commission for Europe / Nations United, Commission,for Economic. — New York: United Nations: 2007. — 29 с.

52 Vaverková, M. D., Adamcová, D., Zloch, J., Radziemska, M., Boas Berg, A., Voběrková, S., Maxianová, A. (2018). Impact of Municipal Solid Waste Landfill on Environment – a Case Study. Journal of Ecological Engineering, 19(4), 55-68. https://doi.org/10.12911/22998993/89664

53 What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 / S. Kaza [et al]. – Washington: World Bank, 2018. – 273 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица – Средние значения концентраций тяжелых металлов в почвах, расположенных рядом с полигоном Новый свет

Элементы	Метров от границы полигона №1						ПДК	ОДК	ФОН
	50	100	200	500	1000	1500			
	Валовая форма, мг/кг								
Cd	1,15	1,35	1,44	1,34	1,28	0,26	0,5		0,17
Co	40,4	10,6	7,3	5,9	2,8	1,4	5		4,1
Cr	91	51,9	40,5	31,3	26,2	14		6	12,5
Cu	306,2	148,4	88,7	66,1	58,2	14,7		66	18
Fe	5280,4	6703,7	7337,3	8820	8371,5	7521,46		40000	36000
Mn	3580,1	3050,7	2690,2	2970	2040,7	1250	1500		117,7
Ni	267	168	144	134	110,3	34		40	15,3
Pb	63,4	54,4	35	19,3	13,8	11,6	32		19,1
Zn	161	48,44	20,55	17,95	16,48	13		110	43,1

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица концентрации тяжелых металлов в точках отбора проб в районе полигона твердых коммунальных отходов «Автоберкут»

Элементы	Метров от границы полигона №2						ПДК	ОДК	ФОН
	50	100	200	500	1000	1500			
	Валовая форма, мг/кг								
Cd	1,12	0,98	0,87	0,54	0,27	0,26	0,5		0,17
Co	21,6	15,3	10,8	6,3	5,4	4,2	5		4,1
Cr	54,2	31,8	22,4	15,2	6,8	4,5		6	12,5
Cu	115,1	64,32	54,31	32,47	21,6	24,3		66	18
Fe	8843,2	9231,8	7439,2	6237,5	5292,1	2600		40000	36000
Mn	2769,1	2073,2	1416,3	945,1	657,5	512	1500		117,7
Ni	98,3	562,4	52,2	37,8	19,5	14		40	15,3
Pb	43,9	21,4	16,1	9,21	6,31	4,8	32		19,1
Zn	121,3	110,8	59,3	42,4	21,9	23		110	43,1