



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 «Воздействие полигонов твёрдых коммунальных отходов на качество окружающей среды»

Исполнитель \_\_\_\_\_ Сигачева Мария Игоревна \_\_\_\_\_

Руководитель \_\_\_\_\_ кандидат биологических наук, доцент \_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_ Рижия Елена Яновна \_\_\_\_\_  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_   
(подпись)

\_\_\_\_\_ кандидат географических наук, доцент \_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_ Дроздов Владимир Владимирович \_\_\_\_\_  
(фамилия, имя, отчество)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

Санкт-Петербург  
2022

## Оглавление

Введение.....	4
Глава 1. Полигоны ТКО .....	7
1.1 ТКО: общая характеристика .....	7
1.2 Полигоны ТКО и их воздействие на окружающую среду.....	11
1.3 Полигоны ТКО в г. СПб и ЛО .....	16
1.4 Зарубежный опыт обращения с отходами.....	17
Глава 2. Экологический мониторинг окружающей среды .....	23
2.1 Общие сведения об экологическом мониторинге .....	23
2.2 Экологический мониторинг на полигонах ТКО .....	24
2.3 Экологический мониторинг в других странах.....	30
Глава 3. Объекты исследования и анализ их воздействия на окружающую среду .....	34
3.1 Объекты исследования .....	34
3.2 Обработка данных мониторинга по объектам .....	35
3.2.1 Грунтовые воды .....	35
3.2.2 Поверхностные воды .....	45
3.2.3 Атмосферный воздух.....	51
3.2.4 Почвы .....	58
Глава 4. Предложения по повышению эффективности экологического мониторинга.....	68
4.1 Подземные и поверхностные воды .....	69
4.2 Атмосферный воздух.....	72
4.3 Шумовое воздействие.....	73

4.4 Температура свалочных масс .....	73
4.5 Почвы .....	74
Заключение .....	75
Список использованной литературы .....	78

## Введение

На сегодняшний день проблема отходов и их воздействия на все компоненты окружающей среды, а, как следствие, и на человека, стоит крайне остро. Развивающееся общество потребления провоцирует производственные мощности производить всё больше и больше товаров, а срок их эксплуатации неуклонно уменьшается. И это происходит не только по причине низкого качества товара, но также из-за того, что такой товар может стать просто не «модным». В связи с этим растут и объёмы отходов.

Среди всех возможных вариантов утилизации отходов полигоны до сих пор остаются самым распространённым способом, ввиду своей простоты и относительно низких финансовых затрат. В России по данным на 2016 год суммарная площадь полигонов ТКО составляет порядка 40 тысяч км<sup>2</sup>. Такая площадь сопоставима с площадью некоторых стран, например, Швейцарии или Нидерландов. Ежегодный прирост площади полигонов в России оценивается в 4 тыс. км<sup>2</sup>. По данным Минприроды России ещё не менее 200 км<sup>2</sup> занимают несанкционированные свалки. Каждый год в России образуется около 70 млн тонн твёрдых коммунальных отходов и эти цифры в перспективе будут только увеличиваться [13, 41].

Однако, большое количество полигонов из имеющихся уже исчерпали или близки к достижению пределов своей вместимости. Не смотря на начатую в 2019 году так называемую «мусорную реформу», понятно, что в обозримом будущем полигоны так и останутся основной формой утилизации отходов в России. Поэтому так важно ответственно и серьёзно относиться к вопросу воздействия полигонов твёрдых коммунальных отходов на компоненты окружающей природной среды, ведь вместе с увеличением их площадей растут и объём их воздействия. В этом и заключается актуальность выполненной дипломной работы.

Воздействие полигонов твёрдых коммунальных отходов в Российской Федерации оценивает и анализирует такой инструмент, как производственный

экологический мониторинг. Помимо анализа текущей обстановки с помощью экологического мониторинга осуществляется прогнозирование воздействия полигона в будущем, разработка мер для оперативного реагирования в случае возникновения внештатных ситуаций и контроль соблюдения технологических условий эксплуатации полигонов ТКО.

Действующее законодательство, определяющее порядок проведения экологического мониторинга полигонов ТКО, не в полной мере позволяет оценить влияние полигонов на природную среду из-за достаточно формального подхода. Чтобы разработать оптимальную систему экологического мониторинга, учитывающую индивидуальные особенности полигона, зависящие как от природных факторов, таких как климат, геоморфология местности и прочее, так и от разницы компонентного состава расположенных на полигоне твёрдых коммунальных отходов, для выявления фактического воздействия, необходимо комплексно рассмотреть действующую систему.

Объектом исследования диссертации выступает воздействие полигонов твёрдых коммунальных отходов на окружающую природную среду. Предметом исследования - система экологического мониторинга воздействия полигонов ТКО на окружающую среду в РФ.

Цель диссертации заключается в разработке предложений, позволяющих повысить эффективность экологического мониторинга полигонов твёрдых коммунальных отходов.

Достижению цели способствуют следующие поставленные задачи:

- изучение основных видов воздействия полигонов твёрдых коммунальных отходов на компоненты окружающей среды;
- анализ действующего законодательства Российской Федерации, в соответствии с которым проводится производственный экологический мониторинг полигонов твёрдых коммунальных отходов;
- обработка и анализ данных производственного экологического мониторинга по трём полигонам твёрдых коммунальных отходов для оценки их

воздействия на окружающую среду и выявление наличия или отсутствия общих закономерностей;

– вынесение предложений по повышению эффективности системы производственного экологического мониторинга на основе полученных результатов анализа данных по трём полигонам твёрдых коммунальных отходов.

Методы исследования: работа с литературными источниками, анализ, синтез, индукция, метод сравнения.

Методологическую основу исследования составляет системный подход и принцип движения от общего к частному (от абстрактного к конкретному).

Практическая значимость магистерской диссертации заключается в том, что полученные рекомендации могут быть использованы органами исполнительности власти при совершенствовании системы производственного экологического мониторинга.

## Глава 1. Полигоны ТКО

### 1.1 ТКО: общая характеристика

Твердые коммунальные отходы – это отходы, которые образуются в результате потребления населением товаров. Так же к ним относятся отходы, образующиеся в процессе деятельности юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и подобные по составу отходам, образующимся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами [1].

Ежегодно в мире образуется около 2,12 миллиардов тонн ТКО, из них в России образуется около 70 млн тонн, что составляет 3,3% от общемирового значения [13, 41].

Количество образуемых ТКО заметно изменяется внутри страны и между странами. Объем образования зависит от уровня дохода населения, климатических особенностей и социально-культурной формы. На рисунке 1 отображена зависимость объемов образования отходов от уровня доходов на душу населения (рассмотрено 82 страны).

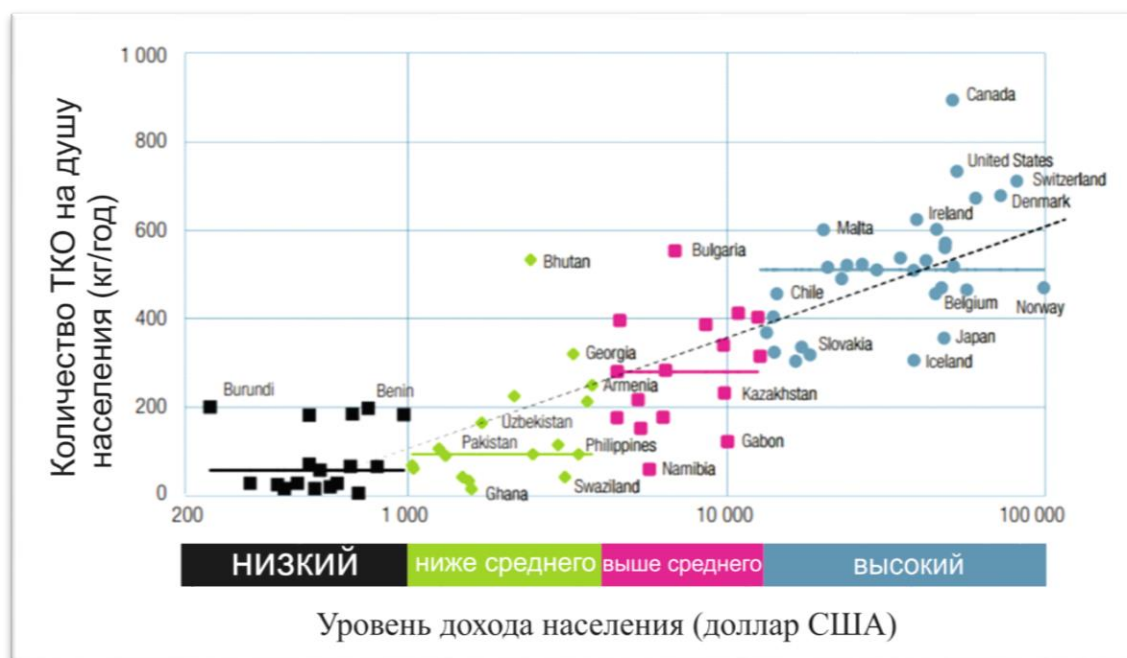


Рисунок 1 - Зависимость количества образуемых ТКО от уровня дохода населения (2005-2010 гг)

Можно заметить на диаграмме сильную корреляцию. Усредненные темпы образования отходов в странах с низким уровнем дохода в шесть раз ниже, чем в странах с высоким уровнем дохода.

По прогнозам аналитиков ожидается, что к 2050 году объём образования ТКО в мире достигнет 3,40 млрд тонн, что в 1,6 раза больше текущего. Такой рост связывают с прогнозируемым приростом населения планеты и с ожидаемым ростом и развитием производства и потребления. Для стран с высокими доходами предполагается рост объёмов образования отходов в день вырастет на 19%, тогда как для стран с низким и средним уровнями дохода – на 40% и более (рисунок 2) [41, 44].

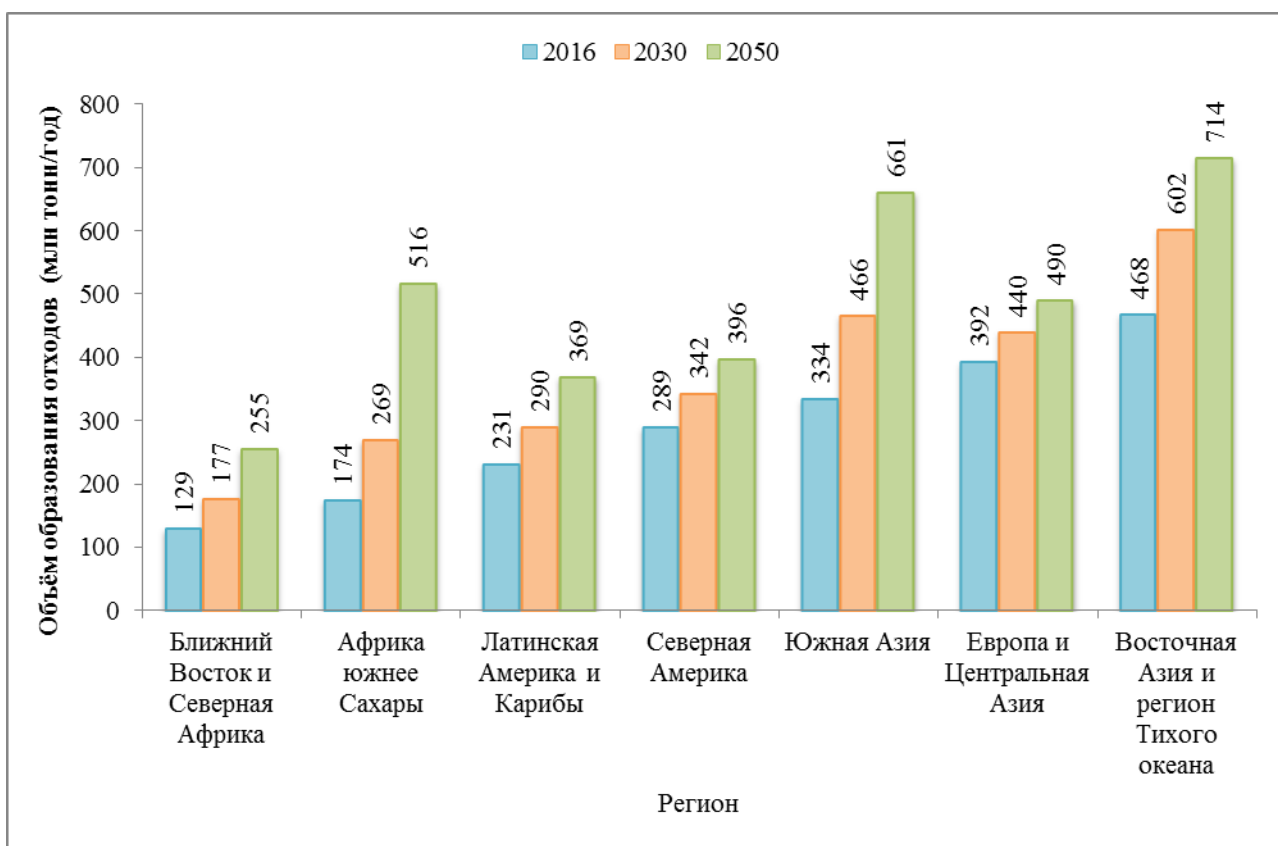


Рисунок 2 - Прогнозируемое образование отходов по регионам (млн тонн/год)

Восточная Азия и Тихоокеанский регион сейчас образуют наибольшее количество отходов в мире. А на Ближний Восток и Северную Африку приходится 6% образуемых отходов. Как видно на диаграмме, изображенной на рисунке 3, к 2050 году прогнозируется удвоение образуемых отходов в Южной



Азии, утроение в Африке к югу от Сахары и удвоение на Ближнем Востоке и Северной Африке [41, 44].

Существует и некоторая закономерность между морфологическим составом ТКО и уровнем доходов граждан стран.

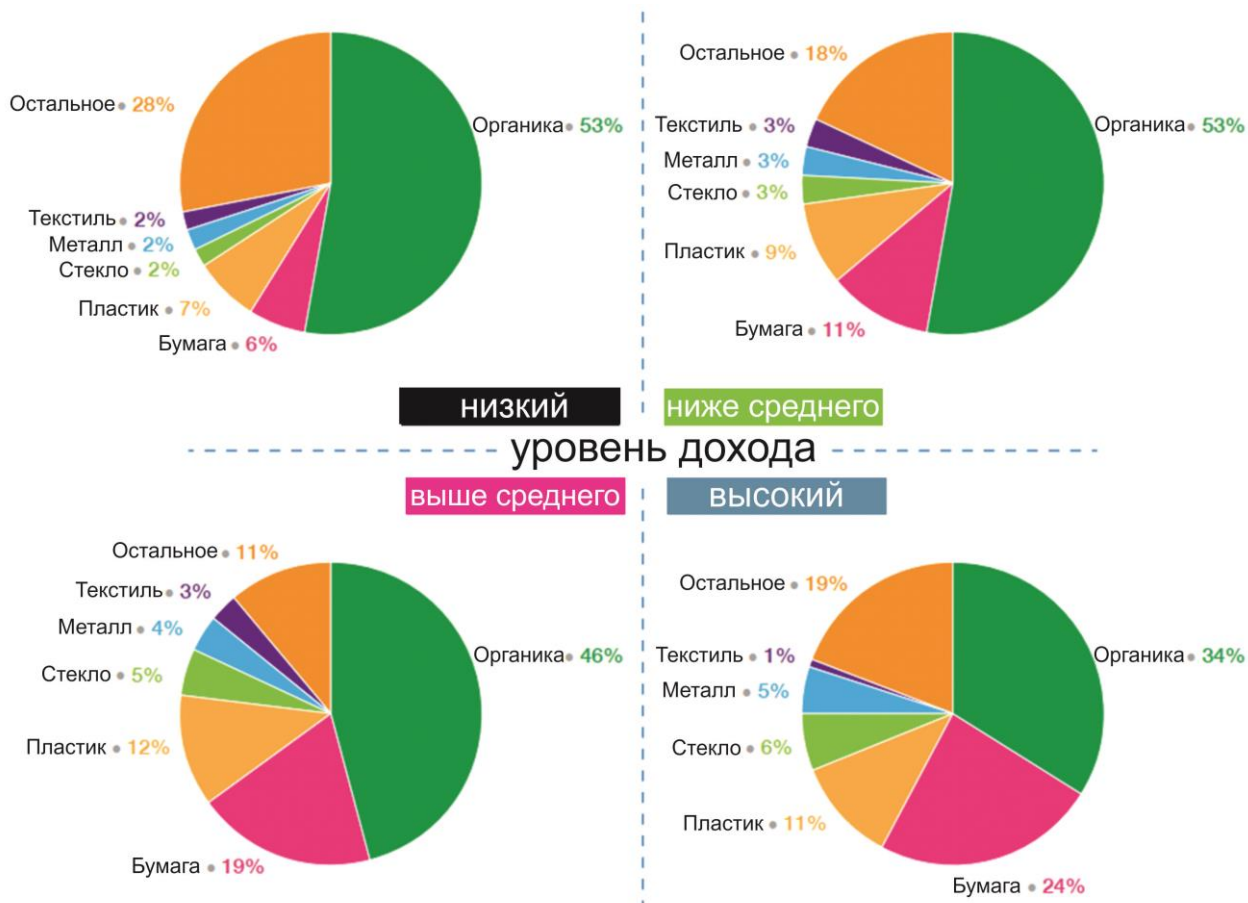


Рисунок 3 - Взаимосвязь морфологического состава ТКО и уровня дохода населения в мире

Как видно на представленной диаграмме на рисунке 3, одним из основных отличий является то, что в странах с высоким уровнем дохода процент, приходящийся на органические отходы, значительно ниже (34%), чем в странах с низким и средним уровнем доходов (53%).

Доля макулатуры в морфологическом составе увеличивается пропорционально уровню дохода. Видим, что в странах с низкими доходами макулатура составляет 6% от общего объёма образуемых отходов. В странах же с высоким уровнем дохода это процент составляет уже 24. В то же время, в

странах с высоким уровнем дохода на современном этапе наблюдается тенденция снижения потребления бумаги на душу населения. Это связывают с переходом к использованию электронных носителей и электронному документообороту.

Разброс значений доли пластиковых отходов (7-12%) не позволяет выявить закономерности его образования в зависимости от уровня доходов населения стран.

Такие отходы как металл, текстильные изделия и стекло составляют относительно малую часть образуемых отходов. Совокупность этих компонентов имеет 6%-ную долю от общего объёма отходов в странах с низким уровнем доходов. Эта доля увеличивается до 12% в странах со средним и высоким уровнями доходов [25, 37].

Основные нормативно-правовые акты федерального уровня в сфере обращения с ТКО представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Нормативно-правовые акты в сфере обращения с ТКО

№	Наименование НПА
1	Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления»;
2	Постановление Правительства РФ от 12.11.2016 № 1156 «Об обращении с твердыми коммунальными отходами и внесении изменения в постановление Правительства Российской Федерации от 25 августа 2008 г. № 641»;
3	Постановление Правительства РФ от 04.04.2016 № 269 «Об определении нормативов накопления твердых коммунальных отходов»;
4	Приказ Минстроя России от 28.07.2016 № 524/пр «Об утверждении Методических рекомендаций по вопросам, связанным с определением нормативов накопления твердых коммунальных отходов»;
5	Постановление Правительства РФ от 31.08.2018 № 1039 «Об утверждении Правил обустройства мест (площадок накопления твердых коммунальных отходов и ведения их реестра)»;
6	Постановление Правительства РФ от 26.12.2020 N 2290 (ред. от 28.02.2022 "О лицензировании деятельности по сбору, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению отходов I - IV классов опасности";
7	Приказ Минприроды России от 30.09.2011 N 792 "Об утверждении Порядка ведения государственного кадастра отходов";
8	Распоряжение Правительства РФ от 25.07.2017 № 1589-р «Об утверждении перечня видов отходов производства и потребления, в состав которых входят полезные компоненты, захоронение которых запрещается».

## 1.2 Полигоны ТКО и их воздействие на окружающую среду

Ежегодно в мире образуется около 2,12 миллиардов тонн ТКО, из них в России образуется около 70 млн тонн, что составляет 3,3% от общемирового значения [13, 41].

Старейший и наиболее распространенный способ утилизации отходов – захоронение их на полигонах. Такой способ нашёл широкое применение ввиду его простоты, малых инвестиций, большой пропускной способности и низких эксплуатационных расходов [43].

В странах с низким уровнем дохода доля отходов, которые отправляются на полигоны и свалки, составляет 93%. К ним относятся страны, расположенные на Ближнем Востоке, страны Африки и Южная Азия [30]. В России около 90% отходов отправляются на полигоны и свалки [20]. В странах с высоким уровнем дохода доля отходов, отправляющихся на свалки, может достигать 1%. Например, Япония, в которой по данным на 2018 год было образовано 40,7 млн тонн ТКО, отправляет на сжигание 80% отходов, 14% идут на переработку, 5% подвергаются рециклингу и лишь 1% захоранивается на полигонах [24].

Растущие темпы урбанизации и обеспокоенность населения касательно качества окружающей среды обитания привлекают все больше внимания к проблеме воздействия полигонов ТКО на окружающую среду. Полигоны и незаконные свалки содержат и могут продуцировать большое количество различных потенциально опасных и токсичных соединений, которые могут оказывать широкий спектр негативного влияния на окружающую среду [43]. При размещении отходов, имеющих достаточно разнородный состав, на полигонах происходит контакт их друг с другом и с геологической средой, вследствие чего происходят сложные химические и биохимические изменения. Как итог, происходит образование и выделение новых соединений в твёрдом, жидком и газообразном состояниях [35].

В целом, полигон ТКО можно исследовать, считая его некой геоэкологической системой. Это подразумевает собой то, что полигон ТКО считается антропогенной системой. В местах дислокации этой системы компоненты окружающей среды имеют системную связь, как между собой, так и с результатом хозяйственной деятельности человека, то есть самим полигоном ТКО. Такое их взаимодействие, их некая целостность, в свою очередь взаимодействует с располагающимися вокруг территориями и географическими оболочками планеты [12].

В то же время, для подобных систем характерна двойственность: полигон воздействует на окружающую природную среду, но, одновременно, и окружающая среда влияет на жизнедеятельность полигона (климатические факторы, рельеф, геологические особенности и прочее) [32].

Полигон, как геоэкологическая система, является открытой средой, значит, вещественно-энергетическая связь происходит постоянно с внешней окружающей природной средой. К таким средам, с которыми происходит обмен, относятся почвы (педосфера), горные породы (литосфера), поверхностные и подземные воды (гидросфера), тропосфера, в которую попадают биогаз, пары химических веществ, пыль и дым от пожаров на полигонах и биосфера (рисунок 4) [12].

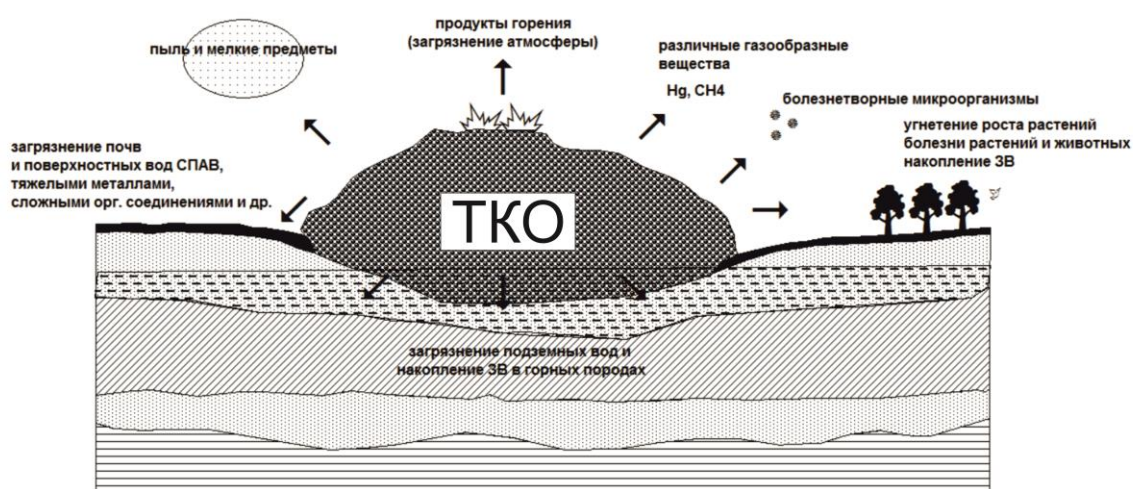


Рисунок 4 - Схема влияния полигона ТКО на окружающую территорию [12]

По данным на 2015 год полигоны ТКО в общемировом масштабе являются источником парниковых газов, занимающим третье место, выделяя 11% от общемирового объёма метановых выбросов (799 млн т  $\text{CH}_4$ , из них США 129,7 млн т, Китай 47,1 млн т, Мексика 38,4 млн т, Россия 37,1 млн т) [27, 34].

В случае, когда свалочный биогаз образуется и выделяется в окружающую среду без контроля, он представляет опасность, как для окружающей среды, так и для человека, ибо в его состав входят метан, углекислый газ, сероводород и пр. (более 100 примесей) – токсичные и горючие вещества. Метан в то же время является взрывоопасным газом, он может спровоцировать возгорание на полигоне, что будет сопровождаться выбросом в атмосферу большого количества токсичных соединений [26].

Воздействие на атмосферный воздух происходит и при обслуживании полигона – выбросы происходят от работы автотехники, при пересыпке изолирующего материала, при дезинфекции и т.д.

Также полигон ТКО оказывает негативное воздействие на поверхностные и подземные воды, так как происходит сток сточных вод и сброс дренажных. Таким образом происходит попадание фильтрата в горизонты подземных вод, а вместе с ним и тяжелых металлов, органических соединений и токсичных веществ. Безусловно, такие «смеси» ухудшают качество вод и их дальнейшее применение в водоснабжении является недопустимым [12].

Состав и объём фильтрата на полигонах постоянно претерпевают изменения. Из-за этого разработка, а также последующая эксплуатация систем очистки, требуют рассмотрения большего количества нюансов, чем, например, при разработке системы очистки промышленных сточных вод.

Срок эксплуатации полигона ТКО оказывает прямое влияние на состав фильтрата, так как в зависимости от определенной ступени жизненного цикла полигона происходят конкретные стадии биохимического распада ТКО, которые в свою очередь являются определяющими для количественной

характеристики содержания загрязняющих веществ. Выделяются следующие стадии жизненного цикла полигона ТКО:

- Аэробная стадия (продолжается несколько месяцев);
- Анаэробная стадия (продолжается от года до трёх лет);
- Стадия ацетогенеза (продолжается от трех до десяти лет);
- Стадия метаногенеза (от десяти до тридцати лет);
- Стадия ассимиляции (до ста лет).

Фильтрат, который получается в результате протекания биохимических процессов на стадии ацетогенеза, называют молодым фильтратом, а тот, что получается на стадии метаногенеза – старым фильтратом. Их химический состав имеет заметные различия – они приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика фильтрационных вод полигона по показателям

Показатель	Фаза ацетогенеза		Метановая фаза	
	Среднее значение	Диапазон концентраций	Среднее значение	Диапазон концентраций
рН	6,1	4,5-7,5	8,0	7,5-9,0
БПК <sub>5</sub> , мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	13000	4000-40000	180	20-550
ХПК, мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	22000	6000-60000	3000	500-4500
БПК <sub>5</sub> /ХПК	0,58	-	0,06	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	500	70-1750	80	10-420
Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	1200	10-2500	60	20-600
Cl <sup>-</sup> , мг/ дм <sup>3</sup>	50	100-1000	2500	1000-5000
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	750	30-3000	250	50-500
Mg <sup>2+</sup> , мг/ дм <sup>3</sup>	470	50-1150	180	40-350
Fe <sub>общ.</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	120	20-1700	15	3-180
Mn <sup>2+</sup> , мг/ дм <sup>3</sup>	25	0,3-65	0,7	0,03-45
Zn <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	50	0,1-120	0,6	0,03-4,0

Некоторые вещества не поддаются общему тренду изменения их концентрации в фильтрате в зависимости от временного фактора, к таким веществам относятся, например, тяжелые металлы (Cu, Ni, Pb, Cd, Cr и прочие). Концентрация таких веществ больше зависит от разведения фильтрата.

В среднем объём фильтрата в процентном выражении от общей массы отходов составляет 25-50%. На величину объёма фильтрата влияют климатические условия местоположения полигона и влажность отходов. Паводковый и осенний периоды являются временем, когда объёмы образующегося фильтрата являются самыми максимальными [29, 31].

Воздействие полигонов на почву заключается в том, что при осуществлении этапа строительства полигона ТКО плодородный слой почвы срезается, а также в том, что вместе с выбросами в атмосферный воздух, вместе с фильтрационными водами и поверхностными стоками в почвенный покров могут попадать загрязняющие вещества, негативно сказывающиеся на качестве почвы.

Таким образом, полигоны ТКО, с одной стороны, создаются и формируются для того, чтобы минимизировать негативное воздействие на атмосферу, почву, подземные и поверхностные воды, но, с другой стороны, полигон превращается в подобие биореактора, в нём протекают физические, химические и биологические процессы, которые имеют своим следствием выделение загрязняющих веществ.

В качестве основных видов влияния полигонов ТКО выделяются [32]:

- привнос в атмосферный воздух загрязняющих веществ из-за образования свалочного газа и выхлопных газов от техники, работающей на территории полигона;
- выемка почв при построении полигона;
- загрязнение подземных и поверхностных вод при попадании в них фильтрата.

Действующие полигоны ТКО, да и те, которые уже закрыты, подчиняются и развиваются в соответствии с законами природы, так как они становятся частью природы. В природе отходы, образующие в процессе существования всего живого, не накапливаются в одном месте, а подвергаются разложению и впоследствии включаются в круговорот веществ. Для минимизации негативного воздействия полигонов ТКО на окружающую природную среду требуется осуществлять управление процессом захоронения отходов, производить постоянный экологический мониторинг всех географических оболочек земной поверхности [35].

### 1.3 Полигоны ТКО в г. СПб и ЛО

На территории города федерального значения Санкт-Петербурга и обрамляющей его Ленинградской области по данным ГРОРО [15] расположено 19 действующих объектов размещения отходов (полигонов ТКО) – их местоположения и наименования представлены на карте (рисунок 5).

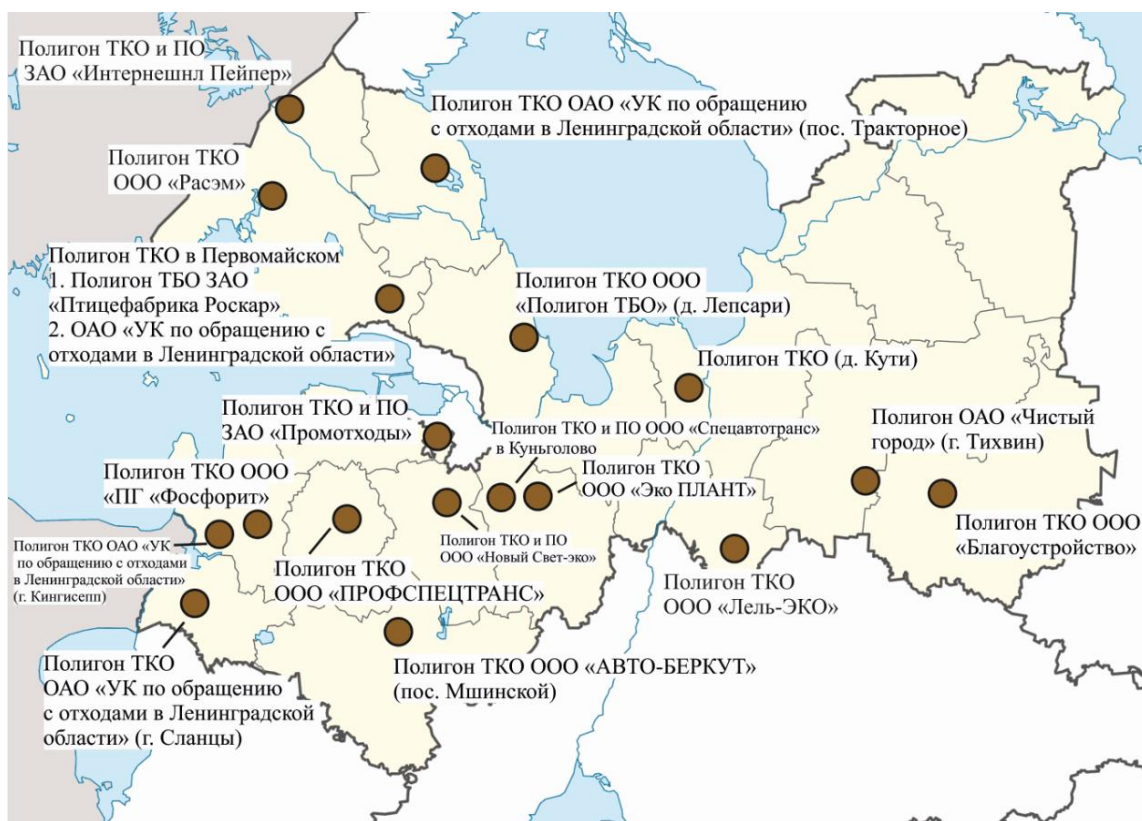


Рисунок 5 – Действующие полигоны ТКО в г. СПб и ЛО



На основании Закона Санкт-Петербурга и Областного закона «Об утверждении Соглашения о взаимодействии между Ленинградской областью и Санкт-Петербургом по вопросу обращения с отходами производства и потребления» (Принят Законодательным Собранием Санкт-Петербурга 20 декабря 2017 года и Законодательным собранием Ленинградской области 4 декабря 2017 года) размещения отходов, образовавшихся в Санкт-Петербурге, происходит на территории Ленинградской области в соответствии со Схемой Санкт-Петербурга и Схемой ЛО [4, 18].

На протяжении долгого времени в России, и в частности в городе Санкт-Петербург и Ленинградской области, формировалась система обращения с отходами, которая в большей своей части была направлена на захоронение отходов на полигонах. Некоторые из действующих на нынешний момент полигонов ТКО могут исчерпать свою остаточную вместимость в скором времени. К таким полигонам можно, например, отнести ООО «Новый Свет-ЭКО», ЗАО «Промотходы» и ООО «Профспецтранс». Наиболее «проблемной» зоной считается северная часть города Санкт-Петербург, так как там наблюдается большая нехватка мощностей для захоронения отходов ТКО, а планы и программы по расширению существующих полигонов не находят одобрения среди населения [18].

#### 1.4 Зарубежный опыт обращения с отходами

Уже более десятилетия в США, некоторых странах Азии и странах Европейского Союза (ЕС) поставлен курс на «безотходность». Это подразумевает, например, то, что отходы, подлежащие сжиганию, нельзя вывозить на захоронение на полигоны, а отходы, которые можно переработать, нельзя сжигать.

В ЕС действует Директива Европейского Парламента и Совета Европейского Союза 2008/98/ЕС от 19 ноября 2008 г. «Об отходах и отмене ряда Директив». Следующая иерархия отходов применяется как приоритетный

порядок в законодательстве и политике предотвращения отходов и обращения с ними:

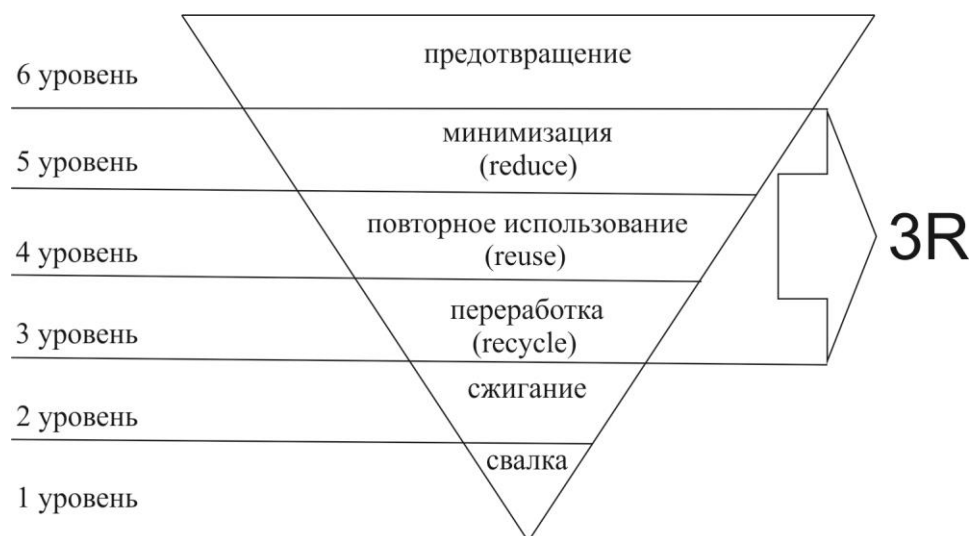


Рисунок 6 – Иерархия методов обращения с отходами

Наиболее предпочтительным является шестой уровень, и далее идут уровни по уменьшению предпочтительности методов обращения с отходами.

В Европе мощным мотиватором для переработки отходов стала нехватка собственных энергоресурсов. В том числе для решения этой проблемы были созданы производственные мощности по переработке отходов в энергию. Лидером по получению электроэнергии от сжигания отходов является Швеция [16, 33]. В стране около 50% отходов утилизируются с этой целью. По данным местной ассоциации по переработке Avfall Sverige на 2019 год, на свалки отправлялось лишь 0,8% всех отходов в стране [19]. Швеция также покупает отходы у других стран, например, у Великобритании, Норвегии и Ирландии [16, 33].

Самый неpreferируемый уровень европейской системы обращения с отходами – захоронение на полигонах. Законом, регулирующим правила и порядок захоронения отходов на полигонах, является Директива Совета Европейского Союза 1999/31/ЕС от 26.04.1999 «О захоронении отходов на полигонах». Основной целью этой директивы является «обеспечение прогрессивного сокращения депонирования отходов» и «установление строгих

эксплуатационных и технических требований к отходам и полигонам мер, процедур и инструкций». Всё это делается для того, чтобы максимально предотвратить или уменьшить отрицательное воздействие на окружающую среду [17].

Одной из мер, принятых для выполнения главной цели Директивы, является запрет на размещение следующих отходов:

- жидкие отходы;
- взрывоопасные, коррозионные, окисляющиеся, легко воспламеняющиеся или горючие в условиях полигона отходы;
- медицинские отходы;
- отходы, которые были собраны отдельно при подготовке для вторичного использования и переработки;
- автомобильные покрышки;
- некоторые иные виды отходов.

Согласно Директиве, захоронение на полигонах допустимо только для тех отходов, которые прошли предварительную обработку [17]. Например, снижение доли биоразлагаемых составляющих при обработке способствует уменьшению объёма выработки биогаза и влияет на качество образующегося фильтрата [21].

В Директиве также приведена классификация полигонов на три класса – к первому классу относятся полигоны захоронения опасных отходов, ко второму – полигоны захоронения неопасных отходов, к третьему - полигоны захоронения инертных отходов (в том числе незагрязненных отходов строительства и сноса зданий). [17, 21]

В Японии около 80% образующихся твёрдых коммунальных отходов сжигается. Для этого применяются современные технологии, например, плазменная газификация. Также в стране восходящего солнца развит отдельный сбор отходов – он немного отличается от привычной классификации, здесь его разделяют на основные четыре категории:

- сгораемый;
- несгораемый;
- перерабатываемый;
- крупногабаритный.

Эти основные категории в свою очередь делятся на подкатегории (например, категория перерабатываемых отходов в свою очередь подразделяется на макулатуру, пластик по видам, стекло, металл и т.д.). Деление на подкатегории различается в зависимости от законодательства конкретной префектуры. Также сбор разных видов отходов осуществляется в разные дни, например, пластик можно выносить только в субботу, а стекло по пятницам. Периодичность вывоза каждой категории отходов также устанавливается в зависимости от префектуры. Некоторые отходы, например, пищевые, могут вывозиться несколько раз в неделю, а некоторые, например, батарейки, раз в месяц.

В случае неправильной сортировки отходов гражданином или выносом его не в тот день в лучшем случае такой мусор не заберут, а в худшем может быть установлена личность этого человека и наложен на него штраф. А если человек выбросит мусор в неположенном для этого месте, ему может грозить срок до 5 лет тюрьмы или штраф в размере до 10 млн йен (около 500 тысяч рублей). Также в Японии практически отсутствуют урны в общественных местах, так как полагается, что каждый человек ответственен за свой мусор сам.

Для того, чтобы выбросить что-то крупногабаритное, нужно оплатить пошлину, путём покупки в любом комбини (круглосуточный магазин, в котором можно найти все, что может внезапно потребоваться в любое время дня и ночи) специальной наклейки, которая подтверждает факт оплаты вывоза и обработки ненужной вещи.

Также в Японии пропагандируется философия и стиль жизни моттаинай (яп. もったいない, рус. «какая трата, расточительство»). С помощью моттаинай в японском обществе пропагандируется бережливое отношение к вещам и

природным ресурсам, осознанное потребление и ответственное обращение с отходами [24].

В США есть схожая по своей сути программа, действующая с 1990-х годов, которая имеет название 3R (Reduce, reuse and recycle concept).

На переработку в США отправляется 35% отходов, сжиганию подвергаются 16%, оставшиеся 49% отвозят на полигоны. Рядом с некоторыми полигонами действуют предприятия, которые превращают отходы в сжиженный газ. По некоторым данным такие заводы получают 13м<sup>3</sup> сжиженного газа [33].

В Южной Корее начали задумываться о проблеме ТКО после бурного индустриального прогресса в 60-80-х годах прошлого века. В этот период количество образующихся отходов возросло с 12 тысяч до 84 тысяч тонн в день. Из-за практически отсутствующей переработки такое увеличение массы отходов способствовало и росту негативного воздействия полигонов ТКО, которые тогда были преобладающим способом утилизации отходов, на окружающую среду [39].

С 1995 года в Южной Корее была введена система оплаты, которая базируется на объёме образуемых отходов (the Volume-Based Waste Fee (VBWF)). Такое нововведение совместно с просвещением населения по вопросам экологии помогло с увеличением осознанности граждан в вопросах потребления. Также в Южной Корее осуществляется отдельный сбор отходов по следующим категориям:

- пищевые отходы;
- отходы, которые можно переработать;
- отходы, которые нельзя переработать;
- крупногабаритные отходы.

Отходы, подлежащие переработке, в свою очередь тоже сортируются по отдельности (стекло, пластик, бумага, алюминий и т.п.). Для каждой категории покупается соответствующий специальный пакет, который называется

Jongnyangjae. Выброс отхода не в том пакете карается штрафом до 1 млн вон (около 55 тысяч российских рублей) [39].

Пищевые отходы подвергаются переработке и используются в качестве корма для скота, а также в качестве удобрения для сельскохозяйственных территорий.

Система выброса крупногабаритных отходов аналогична системе, которая используется в Японии.

На сегодняшний день основная проблема Южной Кореи в отношении отходов – это пластик. По данным на 2015 год страна является одним из лидеров по потреблению пластика на душу населения (132 кг на человека, США 93 кг, Китай 58 кг). С 2017 года Китай запретил ввоз пластиковых отходов на свою территорию, из-за этого увеличились объёмы пластика, остающегося на территории Кореи, а мощности по переработке не справлялись. Увеличился и экспорт таких отходов в страны Юго-Восточной Азии, например, в Таиланд и Филиппины, где не налажена система переработки отходов и они просто складываются в разных местах, которые могут быть даже минимально не оборудованы для захоронения отходов, что приводит к огромному негативному воздействию на почвы, атмосферный воздух, водные объекты, растительный и животный мир [39].

## Глава 2. Экологический мониторинг окружающей среды

### 2.1 Общие сведения об экологическом мониторинге

Одним из инструментов оценки состояния окружающей среды и развивающихся трендов в этой области служит экологический мониторинг окружающей среды. Также он направлен на выработку стратегий, связанных с природоохранной деятельностью, и их реализаций [42].

Экологический мониторинг – это наблюдение за окружающей природной средой и её изучение. Научный подход в этом вопросе заключается в сборе данных, которые в результате обработки даст исследователю знания (рисунок 7). Исходя из этого, роль мониторинга складывается из первых трех ступеней так называемой лестницы познания и основывается на научном методе. Объективные наблюдения позволяют получить достоверные данные, основываясь на которых человечество получает ценную информацию. Обладание такой информацией позволяет лучше понимать положение дел и возможные будущие проблемы, что увеличивает шансы принятия правильных решений.

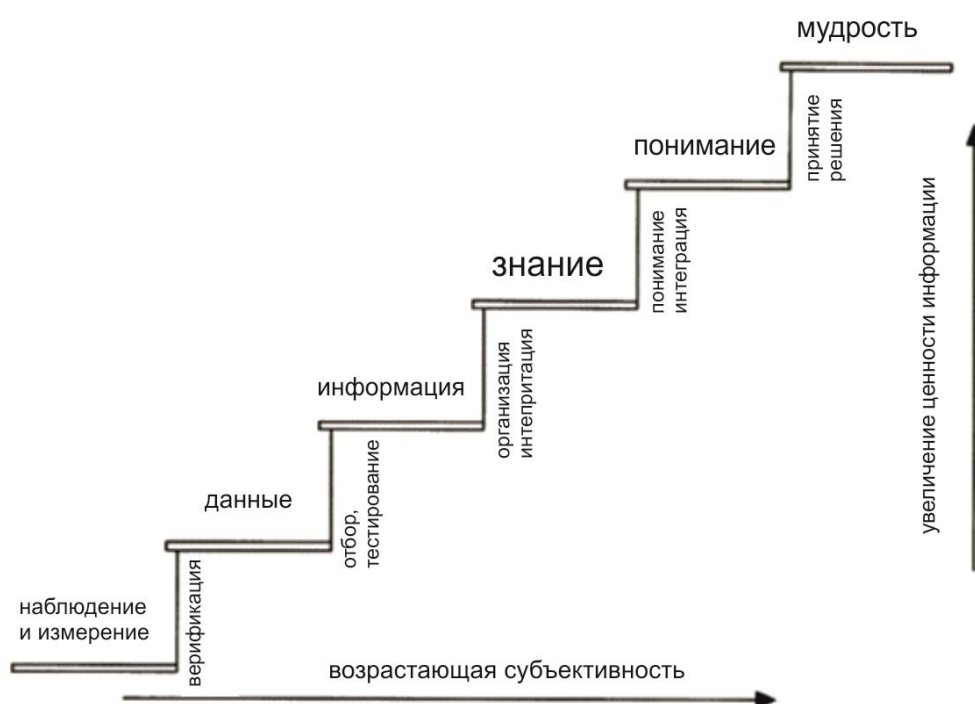


Рисунок 7 – Лестница познания

Представленная схема на рисунке 7 не является полной, но в то же время она предоставляет возможность наглядно понять то, что экологический мониторинг играет важную роль в нашей жизни. С каждым годом роль экологического мониторинга только увеличивается, ведь население планеты неустанно растёт, попутно увеличивая нагрузку на компоненты природной среды. В мировой практике есть уже большое количество примеров, когда из-за увеличения численности населения и следующей за ней концентрации человеческой деятельности, происходили пагубные экологические изменения. Таким примером может служить США и проведенная там промышленная и сельскохозяйственная революции. В ходе этих революций было образовано очень много сопутствующих отходов. Эти отходы до конца 1960-х просто складировались в определённых местах без какой-либо предварительной подготовки таких мест. Даже сейчас в развивающихся странах практикуется такой способ избавления от отходов.

Благодаря экологическому мониторингу человечество знает, что у каждого действия есть последствия. Экологический мониторинг окружающей природной среды очень широк и требует междисциплинарного научного подхода. Ученым-экологам требуются навыки в фундаментальных науках, таких как химия, физика, биология, математика, статистика и информатика. Таким образом, все научные дисциплины вовлечены в эту работу [36].

## 2.2 Экологический мониторинг на полигонах ТКО

Экологический мониторинг состояния окружающей среды полигона ТКО и территории в пределах его воздействия обязан проводиться во исполнение Федерального закона №89-ФЗ (глава 3, статья 12). [1]

Целью экологического мониторинга полигонов ТКО служит систематический контроль состояния природных объектов, расположенных на территории воздействия полигона, аналитическая оценка полученных сведений, прогнозирование возможного воздействия на природную среду и разработка



мер для оперативного реагирования в случае возникновения внештатных ситуаций (например, подтопления, пожара и т.д., вызывающих дополнительное загрязнение). Также сюда относится осуществления контроля за соблюдением технологических условий при эксплуатации полигонов ТКО [22].

В качестве задач экологического мониторинга полигонов ТКО можно выделить следующее [2]:

- систематические наблюдения за состоянием окружающей среды на территориях полигонов ТКО и в пределах его воздействия;
- анализ, оценка и прогнозирование возможных изменений в состоянии окружающей среды, её компонентов и естественный экосистем в пределах воздействия полигона ТКО;
- обеспечение достоверной информацией о состоянии окружающей среды и возможном его изменении органов государственной власти, органов местного самоуправления, юридических и физических лиц;
- участие в формировании государственных данных о состоянии окружающей среды.

В результате проведения экологического мониторинга на полигоне ТКО на основании исследований компонентов природной среды полигона и территорий, на которые оказывается влияние, разрабатываются и оформляются программа ПЭМ и отчёт о результатах ПЭМ.

Программа ПЭМ в соответствии с законодательством включает в себя:

1. Общие сведения об объекте размещения отходов;
2. Цели и задачи наблюдений за состоянием и загрязнением окружающей среды на территории объекта размещения отходов и в пределах его воздействия на окружающую среду;
3. Сведения об источниках информации, использованных при разработке программы мониторинга;

4. Обоснование выбора подлежащих наблюдению компонентов природной среды и природных объектов на территории объекта размещения отходов и в пределах его воздействия на окружающую среду;

5. Обоснование выбора наблюдаемых показателей для подлежащих наблюдению компонентов природной среды и природных объектов, характеризующих состояние и загрязнение окружающей среды на территории объекта размещения отходов и в пределах его воздействия на окружающую среду, периодичности проведения наблюдений;

6. Обоснование выбора мест отбора проб, точек проведения инструментальных измерений, определений и наблюдений;

7. Состав отчета о результатах мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды на территории объекта размещения отходов и в пределах его воздействия на окружающую среду;

8. Список использованных источников;

9. Приложения.

Первая глава подразумевает указание реквизитов письма в Росприроднадзор, которое содержало характеристику объекта по итогам инвентаризации. Все другие сведения об объекте, в соответствии с законодательством, указываются по желанию.

Вторая глава, как понятно из её названия, должна содержать цели и задачи проводимого мониторинга на территории полигона и в пределах его воздействия.

Третья глава должна содержать в себе перечисление источников информации, на которые опираются разработчики программы ПЭМ. К таким источникам относятся: проектная документация полигона, документация по экологическим изысканиям на территории до эксплуатации её в качестве полигона, сведения о мониторинге за предыдущие годы.

Четвертая глава содержит в себе информацию о том, в каком состоянии находится природная среда в районе расположения объекта, и о том, какое воздействие оказывает полигон на неё. На основе этого приводятся выводы

касательно того, какие компоненты природной среды следует взять под контроль и проводить их мониторинг.

На полигонах полагаются такие системы мониторинга окружающей среды [5, 6, 7, 8, 10, 23]:

- мониторинг подземных вод (наблюдательные скважины);
- мониторинг поверхностных вод;
- мониторинг атмосферного воздуха;
- мониторинг почвенного покрова.

Дополнительно мониторинг может включать в себя [23]:

- мониторинг шумового загрязнения в зоне возможного неблагоприятного влияния;
- радиационный дозиметрический контроль отходов при их поступлении;
- систематический контроль фракционного, морфологического и химического состава поступающих отходов;
- контрольное определение степени уплотняемости отходов с целью обеспечения равномерной просадки тела полигона;
- контроль правильности заложения внешнего откоса полигона;
- осмотр санитарно-защитной зоны с целью ликвидации несанкционированных свалок, очистки территории и т.д.

В пятой главе составляется список показателей, характеризующих состояние природной среды, которые могут измениться из-за размещения отходов на данном полигоне. Здесь же определяется периодичность мониторинга этих показателей и точность проведения и методы измерений.

Для атмосферного воздуха в пробах устанавливают содержание метана, сероводорода, аммиака, окиси углерода, бензола, трихлорметана, четыреххлористого углерода, хлорбензола. Периодичность отбора и анализа проб атмосферного воздуха – ежеквартально [23].

Для поверхностных вод перечень показателей отсутствует.

Для грунтовых вод в подземных (грунтовых) вод определяют: аммиак, нитриты, нитраты, гидрокарбонаты, кальций, хлориды, железо, сульфаты, литий, ХПК, БПК, органический углерод, рН, магний, хром, цианиды, свинец, ртуть, мышьяк, медь, кадмий, барий, сухой остаток [23]. Также должны контролироваться: нефтепродукты, фенолы, аммоний, железо, кадмий, акриламид, стирол, хлориды, СПАВ, свинец, марганец, ртуть, сурьма, никель, хром, бензол [10]

На полигонах ТКО рекомендуется контролировать следующие показатели в пробах подземных вод: перманганатная окисляемость, азот аммония, запах, мутность, санитарно-показательные микроорганизмы [11].

Периодичность контроля состояния подземных вод составляет 1 раз в месяц [11].

Для оценки санитарного состояния почв являются: тяжелые металлы, нефть и нефтепродукты, мышьяк, цианиды, радиоактивные вещества, лактозоположительные кишечные палочки (коли-формы), энтерококки (фекальные стрептококки), патогенные микроорганизмы, яйца и личинки гельминтов (жизнеспособных), цисты кишечных патогенных простейших [10].

Для оценки состояния растительного мира рассматривается состояние травянисто-кустарничкового яруса, древостоя и других объектов растительного мира. При проведении маршрутных обследований оценивается наличие или отсутствие угнетения растений. Маршрутные обследования проводятся в период вегетации.

Оценка состояния животного мира также проводится методом визуальных наблюдений во время маршрутных обследований территории вблизи ОРО. Индикаторами состояния животного мира являются ихтиофауна, млекопитающие и земноводные, обитающие в районе расположения полигона.

Шестая глава содержит сведения, обосновывающие правильность выбора количества и местоположения точек отбора проб, проведения измерений и наблюдений. При определении местоположения и выборе количества точек отбора для атмосферного воздуха и почв во внимание принимается

направления ветров и виды разрешенного использования земельных участков, расположенных на границах полигона. Для точек отбора подземных вод важным является учёт распространенности и условий залегания водоносных горизонтов и водоупорных горных пород и расположения границ областей питания водоносных горизонтов и границ областей их разгрузки.

Первый водоносный горизонт используется для осуществления наблюдения за состоянием подземных вод. При обнаружении его загрязнения и оценки вероятности загрязнения нижележащих горизонтов, производится проверка других горизонтов.

Пробы атмосферного воздуха отбираются над отработанными участками полигона, на границе санитарно-защитной зоны [23], на границе территории, соответствующей пределам негативного воздействия [5]. Нормативы качества окружающей среды для атмосферного воздуха определяются на границе земельного участка полигона [3].

На поверхностных водоисточниках выше полигона и на водоотводных канавах ниже полигона организовываются точки отбора проб поверхностных вод. Наблюдательная гидрологическая скважина должна быть заложена выше полигона по направлению движения грунтовых вод. А ниже полигона по направлению течения грунтовых вод должны быть организованы 1-2 скважины, в которых отбираются пробы, показывающие влияние полигона на грунтовые воды [23].

Что касается почв, то нормативы для них определяются на границе земельного участка, на котором расположен полигон [Постановлению Правительства РФ от 26.05.2016 № 467].

Седьмая глава содержит в себе сведения о том, что должен в себе содержать отчет о результатах мониторинга на территории полигона и в пределах его воздействия [5].

### 2.3 Экологический мониторинг в других странах

Экологический мониторинг в каждой стране мира имеет схожие трактовки основных целей и задач, однако, путь, который преодолевается для достижения этих целей и задач у каждой страны свой. Существуют различные методики, перечни показателей, есть различия и в списках компонентов, для которых обязателен экологический мониторинг.

В Австралии основная информация, которой руководствуются при планировании, строительстве и эксплуатации полигонов ТКО, содержится в документе, который называется «Экологический менеджмент полигонов» (Environmental management of landfill facilities) [38]. В главе, посвященной экологическому мониторингу на полигонах, говорится о том, что программа мониторинга должна быть разработана с учётом всех возможных воздействий на окружающую среду и главное её значение в том, чтобы она контролировала эффективность действующих мероприятий по снижению воздействия на окружающую среду, а не просто описывала факт воздействия.

Программа мониторинг полигонов ТКО в Австралии обязательно должна включать в себя мониторинг фильтрата, мониторинг подземных и поверхностных вод, мониторинг ливневых (сточных) вод и мониторинг атмосферного воздуха.

Предполагается, что полигоны проектируются с учётом всех возможных путей загрязнения окружающей среды для обеспечения максимально возможного минимального воздействия. На этапе проектирования для полигона разрабатывается концептуальная модель площадки. Эта модель описывает возможные источники негативного воздействия на окружающую среду и объекты, на которые это воздействие происходит, пути миграции загрязняющих веществ. Всё это основывается на местной и региональной геологии, значениях фоновых концентраций, климатических и природных условиях. Также для модели разрабатываются с учётом её специфики мероприятия по защите окружающей среды от воздействия полигона.

На полигонах должна быть реализована программа мониторинга с учётом всех индивидуальных особенностей местоположения конкретного объекта. Это позволяет поддерживать концептуальную модель площадки и помогает вносить изменения в конструкцию, управление и эксплуатацию объекта по мере развития деятельности.

Мониторинг фильтрата позволяет обнаружить возможное воздействие на подземные воды до того, как оно произошло, и это предоставляет возможность внести корректировки в управленческие стратегии.

В качестве индикаторов, на основе которых проводится мониторинг фильтрата, в Австралии используются такие показатели, как электропроводность, водородный показатель, уровень жидкости в стояке фильтрата, объем фильтрата, общая минерализация, общее количество взвешенных твердых веществ, основные катионы и анионы (кальций, магний, калий, натрий, хлорид, фторид и сульфат), щелочность (бикарбонатная и карбонатная), растворенное органическое вещество (общий органический углерод, БПК, ХПК), аммиак и нутриенты (нитраты, нитриты и фосфор), металлы (алюминий, мышьяк, барий, кадмий, хром, кобальт, медь, свинец, марганец, ртуть, никель и цинк), органические загрязнители (фенолы, нефтяные углеводороды, моноароматические углеводороды (в частности бензол, толуол, этилбензол и ксилол), ХОП, ФОС, ПАУ (по ХОП, ФОС, ПАУ мониторинг производится в соответствии с государственными требованиями).

Периодичность измерений для таких показателей, как электропроводность, водородный показатель, уровень жидкости в стояке фильтрата – раз в квартал. Объем фильтрата определяется постоянно. Остальные показатели измеряются один раз в год.

Для проведения мониторинга поверхностных вод требуются места отбора проб, расположенные выше и ниже по течению. С помощью такого расположения мест отбора выявляется не только оказываемое воздействие полигона на поверхностные воды, но и воздействия, которые не являются результатом эксплуатации полигона.

Мониторинг поверхностных вод полигонов производится на основе контроля следующих показателей: водородный показатель, растворенный кислород, электропроводимость, общее количество взвешенных твердых веществ, аммонийный азот, общий органический углерод, термоустойчивые колиформные бактерии (только при использовании для запасов воды, питьевой воды или рекреационных целей), общая минерализация, калий и ХОП, ФОС, ПАУ (по ним также, как и при мониторинге фильтрата, мониторинг производится в соответствии с государственными требованиями)

Программа мониторинга подземных вод должна быть разработана в соответствии с концептуальной моделью участка. В ней оцениваются текущее и потенциальное воздействия полигона ТКО на основе фоновых показателей качества подземных вод.

Показатели, анализируемые при мониторинге подземных вод, следующие: водородный показатель, окислительно-восстановительный потенциал, температура, постоянный уровень воды, общая минерализация, основные катионы и анионы (кальций, магний, калий, натрий, хлорид, фтор и сульфат), щелочность (бикарбонатная и карбонатная), общий органический углерод, аммиак и нутриенты (нитраты, нитриты и фосфор), металлы (алюминий, мышьяк, барий, кадмий, хром, кобальт, медь, свинец, марганец, ртуть, никель и цинк), органические загрязнители (фенолы, нефтяные углеводороды, моноароматические углеводороды (в частности бензол, толуол, этилбензол и ксилол), ХОП, ФОС, ПАУ, эфиры фталевой кислоты)

Металлы и органические загрязнители измеряются раз в год, остальные показатели раз в квартал.

При проведении мониторинга свалочного газа (атмосферного воздуха) местоположение и количество пробоотборных точек устанавливается индивидуально для каждого полигона. Главные критерии – это расположение некоторых точек на поверхности, под землей и в закрытых помещениях. Программа мониторинга должна быть выполнена так, чтобы при помощи проведения измерений, можно было бы выявлять риски, которые вызывает



свалочный газ, не только на территории полигона, но и за его пределами. Такой подход позволяет осуществлять своевременные корректирующие действия для минимизации негативного воздействия.

Ежемесячно проводится контроль метана в атмосферном воздухе на поверхности полигона и в закрытом помещении на расстоянии не более 250 метров от полигона. Также в этом помещении ежемесячно измеряется концентрация углекислого газа. Раз в квартал происходит подповерхностный мониторинг метана и углекислого газа. В случае выявления превышений установленных пороговых значений, следует обращаться в течение 24-х часов в Управление по охране окружающей среды Австралии.

## Глава 3. Объекты исследования и анализ их воздействия на окружающую среду

### 3.1 Объекты исследования

В качестве объектов исследования для работы использовались данные экологического мониторинга по трём полигонам ТКО, расположенным в Ленинградской области. Для сохранения конфиденциальности каждому полигону были присвоены условные обозначения (полигон 1, полигон 2, полигон 3).

Полигон 1, в соответствии с лицензией, осуществляет сбор, транспортирование, обработку, утилизацию, обезвреживание, размещение отходов I - IV классов опасности. Эксплуатируется более 20 лет. Площадь полигона составляет 43 га, из которых зона складирования занимает 35,7 га.

В геоморфологическом отношении территория полигона и местности вокруг представлена ледниковой равниной. Территории свойственна сильная заболоченность. Почвенный покров представлен дерново-подзолистыми и торфяно-болотными почвами.

Полигон 2 осуществляет деятельность на основании лицензии по сбору и транспортированию отходов III-IV классов опасности, размещению и утилизации отходов IV класса опасности. В эксплуатации полигон находится более 10 лет. Площадь объекта размещения 9,1 га.

Вся территория местности, в которой расположен полигон 2, находится в зоне холмисто-котловинного и грядово-ложбинного типа рельефа. Рельеф местности холмистый, пересеченный.

На полигоне 3 основным видом деятельности является прием и размещение твердых отходов III - V классов опасности. Общая площадь полигона составляет 5,77 га: из них – 3,46 га занято существующим терриконом отходов. Полигон располагается на ледниковой равнине. Почвы на территории полигона и ближайшей местности дерново-карбонатного типа.

## 3.2 Обработка данных мониторинга по объектам

### 3.2.1 Грунтовые воды

На основе данных мониторинга грунтовых вод за 2021 год для рассматриваемых объектов (полигон 1, 2, 3) был проведён сравнительный анализ. Для анализа использовались полученные в ходе мониторинга значения концентраций загрязняющих веществ.

Так как единицы измерения для разных веществ отличаются, они все были переведены в условные единицы, которые были получены путём применения формулы, в которой в качестве числителя выступает значение концентрации вещества в контрольной скважине, а в знаменателе находится значение концентрации в фоновой скважине (формула 1).

$$C_i = \frac{C_{ki}}{C_{\phi i}}, \quad (1)$$

где  $C_{ki}$  – концентрация  $i$ -го вещества в контрольной скважине, которая располагается ниже полигона по течению грунтовых вод;

$C_{\phi i}$  – концентрация  $i$ -го вещества в фоновой скважине, которая располагается выше полигона по течению грунтовых вод.

Сначала проходит расчёт такой условной единицы для каждого месяца, а потом рассчитывается среднегодовое значение концентрации вещества в грунтовых водах, располагающихся вблизи территории полигонов.

На полигоне 1 существует сеть из двух кустов по три скважины каждый, скважины первого куста расположены выше по течению подземных вод полигона (по ним определяются фоновые значения концентрации исследуемых веществ) и скважины второго куста ниже (это контрольные скважины, по ним определяется влияние полигона на грунтовые воды).

Полученные среднегодовые значения веществ, которые подлежат мониторингу, для полигона 1 в 2021 году представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Среднегодовые значения концентраций веществ полигона 1 (грунтовые воды)

Наименование вещества	Среднегодовое значение, $C_{ki}/C_{\phi i}$
Водородный показатель	1.01
Мутность	2.70
БПК 5	1.78
ХПК	1.15
Окисляемость перманганатная	1.16
Сухой остаток	1.09
Гидрокарбонат-ионы	1.05
Аммоний-ионы	1.10
Нитрат-ионы (нитраты)	1.62
Нитрит-ионы	1.00
Сульфат-ионы (сульфаты)	3.46
Хлорид-ионы (хлориды)	0.64
СПАВ анионактивные (АПАВ)	1.72
Нефтепродукты	9.19
Фенол	1.25
м-п-крезол (сумма)	1.02
о-крезол	1.13
2,6-ксиленол	1.00
Барий	2.88
Железо	1.93
Кадмий	1.47
Кальций	1.88
Литий	1.16
Магний	1.50
Марганец	7.87
Медь	2.43
Мышьяк	0.98
Свинец	3.31
Хром	2.43
Ртуть	1.02
Цианид-ионы (цианиды)	1.00
Углерод органический	0.93
Стирол	1.00
Аммиак (в пересчете на азот)	5.99
Фенолы (сумма)	1.21
Акриламид	1.00

При проведении анализа исключены водородный показатель, так как он не является загрязняющим веществом, а также фенол, м-, п-крезол (сумма), о-крезол, 2,6-ксиленол, так как они являются составными частями показателя фенолы (сумма). Также исключены показатели мышьяк, цианид-ионы

(цианиды), стирол, акриламид, нитрит-ионы, углерод органический и хлорид-ионы (хлориды), так как их среднегодовые значения меньше или равны единице, что говорит об отсутствии превышений значений в контрольной скважине над значениями фоновой по этим веществам.

Наглядно представить долю каждого загрязняющего вещества от общего количества в среднегодовом выражении поможет диаграмма, представленная на рисунке 8. В категорию «Другие» попали вещества, чья доля составляет менее 3%.

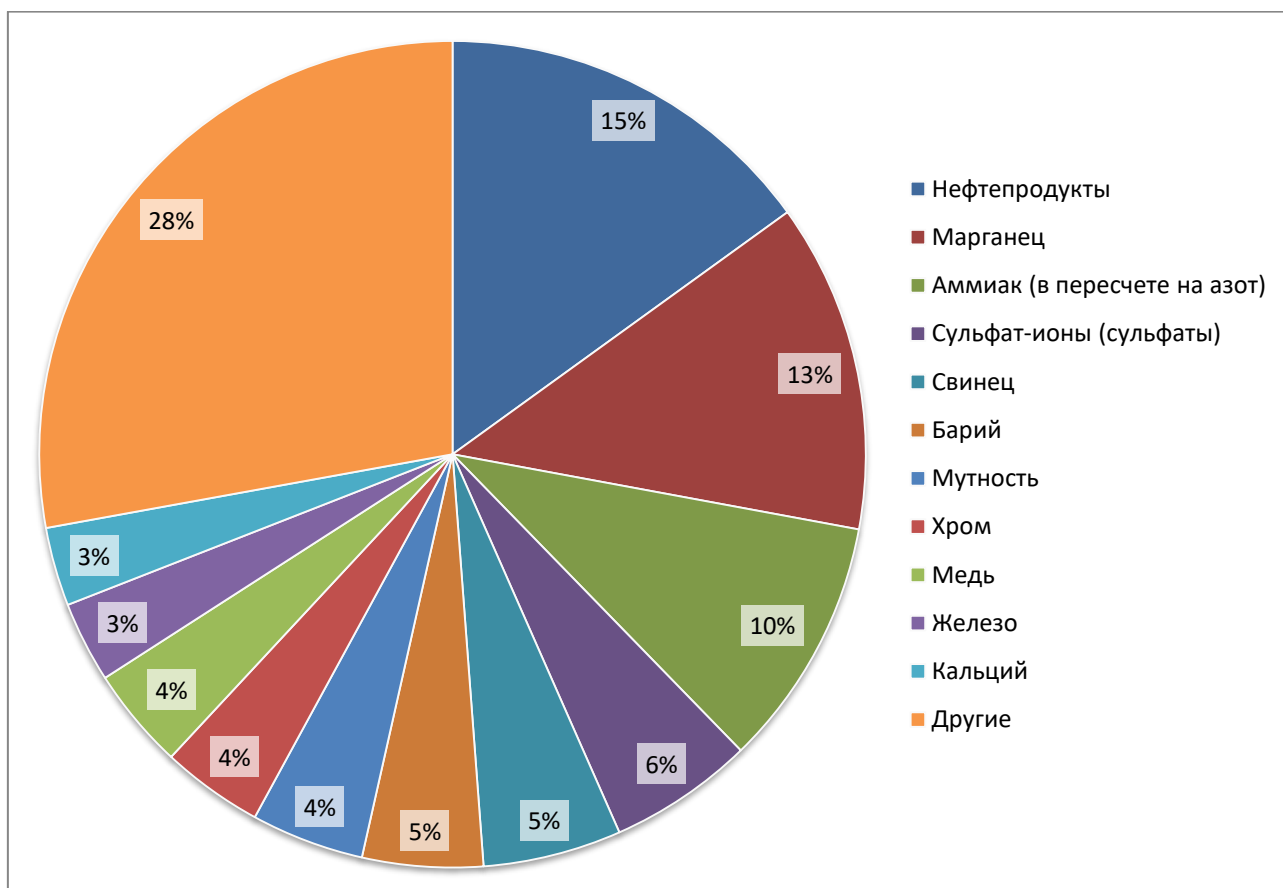


Рисунок 8 - Доля среднегодовых концентраций загрязняющих веществ в грунтовых водах на полигоне 1

Как видно из диаграммы, на полигоне 1 в грунтовых водах из загрязняющих веществ больше всего нефтепродуктов (15%), марганца (13%), аммиака (в пересчете на азот) (10%) и сульфат-ионов (сульфатов) (6%). На них

приходится доля в 44% от общего количества концентраций загрязняющих веществ в грунтовых водах полигона 1.

Получаем, что состояние грунтовых вод на полигоне 1 неудовлетворительное, так как среднегодовые значения в контрольных скважинах значительно превышают фоновые практически по всем показателям, за исключением показателей мышьяк, цианид-ионы (цианиды), стирол, акриламид, нитрит-ионы, углерод органический и хлорид-ионы (хлориды).

Рассмотрим теперь полигон 2. Рассчитанные среднегодовые значения в условных единицах по формуле 1 приведены в таблице 4. Наблюдение за состоянием грунтовых вод на этом полигоне осуществляется при помощи двух скважин. Скважина №1 располагается выше по течению грунтовых вод и используется в качестве источника значений фоновых концентраций определяемых веществ. Скважина №2, соответственно, ниже по течению грунтовых вод и используется в качестве контрольной скважины для определения влияния полигона на грунтовые воды.

При проведении анализа также исключены водородный показатель, так как он не является загрязняющим веществом, фенол, м-, п-крезол (сумма), о-крезол, 2,6-ксиленол, так как они являются составными частями показателя фенолы (сумма). Также исключены показатели мышьяк, цианид-ионы (цианиды), стирол, акриламид, ртуть и магний, так как их среднегодовые значения меньше или равны единице, что говорит об отсутствии превышений значений в контрольной скважине над значениями фоновой по этим веществам.

Таблица 4 - Среднегодовые значения концентраций веществ полигона 2 (грунтовые воды)

Наименование вещества	Среднегодовое значение, $C_{ki}/C_{fi}$
Водородный показатель	0.98
Мутность	1.96
Цветность	1.50
БПК 5	1.62
ХПК	1.64
Окисляемость перманганатная	8.89

Наименование вещества	Среднегодовое значение, С <sub>ки</sub> /С <sub>фи</sub>
Сухой остаток	1.95
Гидрокарбонат-ионы	1.80
Аммоний-ионы	2.36
Нитрат-ионы (нитраты)	1.02
Нитрит-ионы	1.12
Сульфат-ионы (сульфаты)	5.34
Хлорид-ионы (хлориды)	8.70
СПАВ анионактивные (АПАВ)	1.39
Нефтепродукты	5.92
Фенол	1.14
м-п-крезол (сумма)	0.93
о-крезол	1.00
2.6-ксиленол	1.00
Барий	1.73
Железо	2.65
Кадмий	1.59
Кальций	2.03
Литий	1.42
Магний	0.57
Марганец	13.75
Медь	4.87
Мышьяк	1.00
Свинец	1.21
Хром	1.54
Ртуть	0.94
Цианид-ионы (цианиды)	1.00
Углерод органический	1.24
Стирол	1.00
Аммиак (в пересчете на азот)	2.66
Фенолы (сумма)	1.02
Акриламид	1.00

Диаграмма, отображающая долю каждого вещества, представлена на рисунке 9. В категорию «Другие» попали вещества, чья доля составляет менее 2,5%.

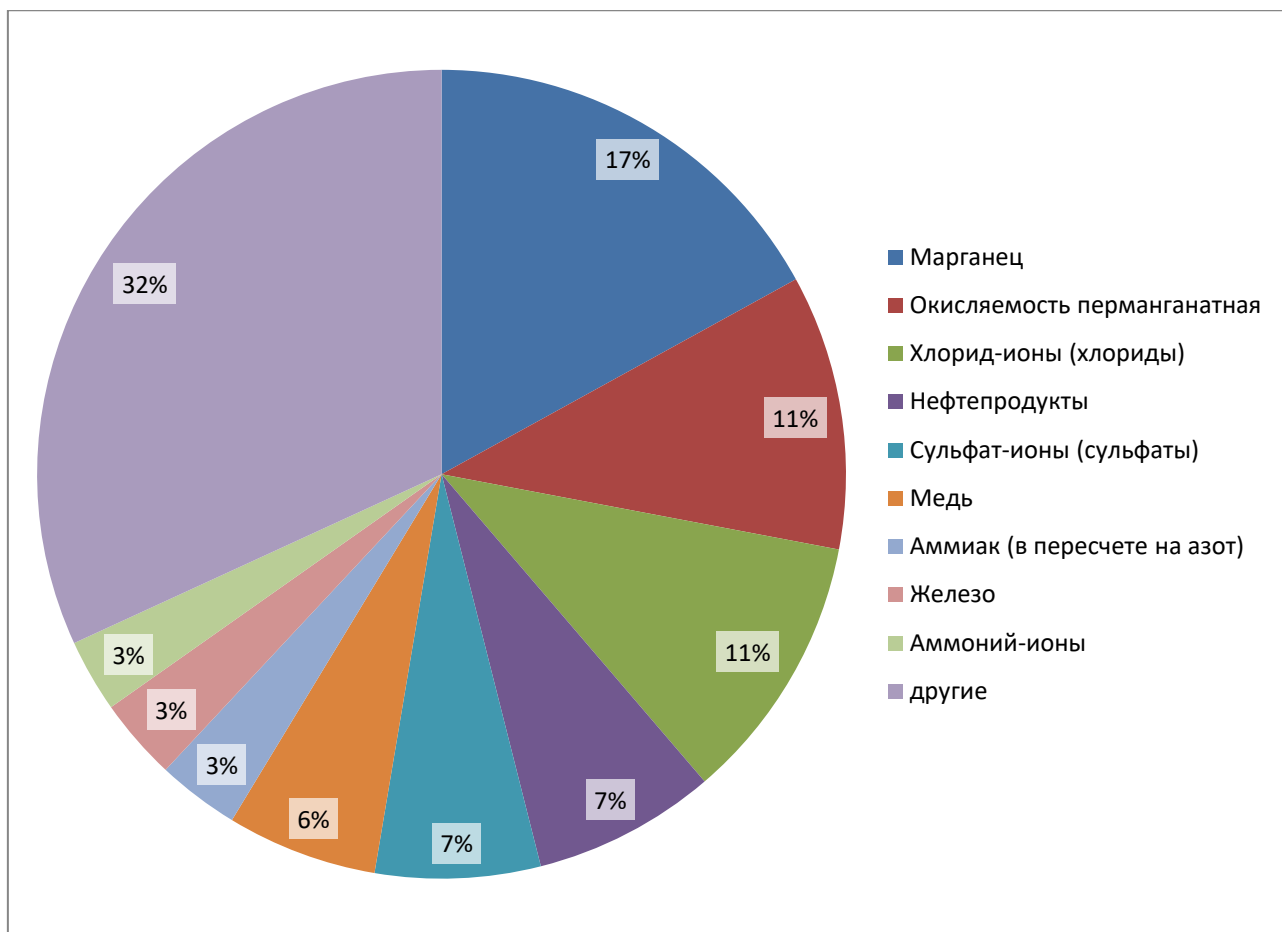


Рисунок 9 - Доля среднегодовых концентраций загрязняющих веществ в грунтовых водах на полигоне 2

На полигоне 2 видим совсем другую картину, нежели на полигоне 1. Здесь наибольший вклад в загрязнение грунтовых вод вносят марганец (17%), окисляемость перманганатная (11%), хлорид-ионы (хлориды) (11%), нефтепродукты и сульфат-ионы (сульфаты) (по 7% каждый). Эти вещества в сумме занимают более половины (53%) от общего количества.

Состояние грунтовых вод на полигоне 2 также неудовлетворительное, так как среднегодовые значения в контрольных скважинах значительно превышают фоновые практически по всем показателям, за исключением показателей мышьяк, цианид-ионы (цианиды), стирол, акриламид, ртуть и магний.

Среднегодовые значения в условных единицах на полигоне 3 приведены в таблице 5. Наблюдательная сеть за состоянием грунтовых вод представлена 5 скважинами, одна из которых является фоновой.



Таблица 5 - Среднегодовые значения концентраций веществ полигона 3  
(грунтовые воды)

Наименование вещества	Среднегодовое значение, $C_{ki}/C_{\phi i}$
pH	1.0
БПК 5	1.2
ХПК	0.9
сухой остаток	1.5
барий	2.1
железо общее	1.5
кадмий	1.4
кальций	1.5
литий	1.1
магний	1.5
марганец	0.8
медь	1.8
мышьяк	1.0
ртуть	1.5
свинец	1.3
хром VI	1.9
аммиак (аммоний-ионы)	3.0
аммиак (в пересчете на азот)	25.7
нитриты	1.0
нитраты	3.0
гидрокарбонаты	1.4
сульфат-ионы	2.2
хлориды	3.0
цианиды	1.0
нефтепродукты	1.4
СПАВ анионактивные (АПАВ)	1.1
фенол	1.3
мутность	1.0
перманганатная окисляемость	1.1
стирол	1.0
акриламид	1.0
м-.п-крезол (сумма)	1.1
о-крезол	0.9
2,6-ксиленол	0.9
органический углерод	1.1

Исключен из анализа водородный показатель, так как он не является загрязняющим веществом, и показатели м-, п-крезол (сумма), о-крезол, 2,6-ксиленол так как они являются составными частями показателя фенолы (сумма). Также исключены показатели мутность, цианиды, стирол, акриламид,

ХПК и марганец, так как их среднегодовые значения меньше или равны единице, что говорит об отсутствии превышений значений в контрольной скважине над значениями фоновой по этим веществам.

На диаграмме (рисунок 10) в категорию «Другие» попали вещества, процентное содержание в грунтовых водах которых составляет менее 2,5%/

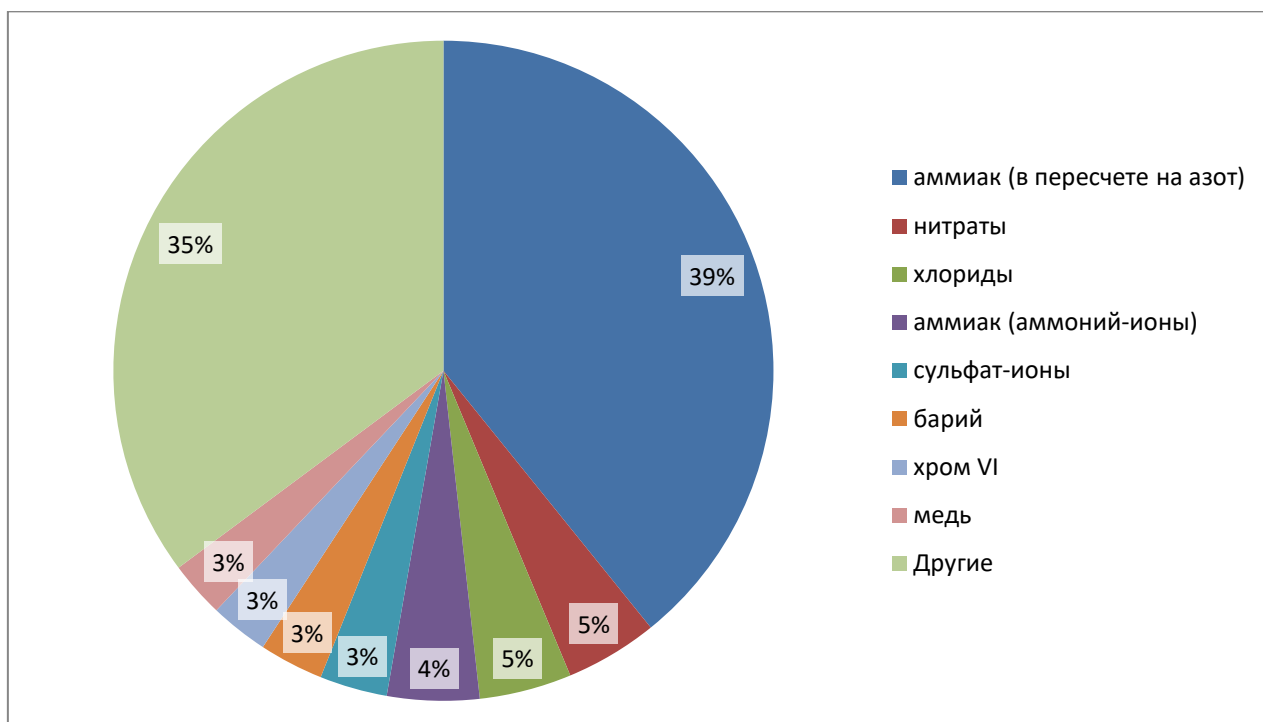


Рисунок 10 - Доля среднегодовых концентраций загрязняющих веществ в грунтовых водах на полигоне 3

Наибольший вклад в загрязнение грунтовых вод на полигоне 3 в 2021 году вносит аммиак (в пересчете на азот), доля которого составляет 39%. Остальные вещества имеют доли 5% и меньше.

На полигоне 3 качество грунтовых вод значительно лучше, чем на полигоне 1, однако превышения встречаются по большей части показателей, хоть и невысокие, за исключением аммиака.

Рассмотрим динамику концентраций аммиака в грунтовых водах полигона 3. На полигоне действует 5 скважин. Скважина №2 является контрольной, то есть полученные в ней значения концентраций принимаются за

фоновые. Скважина №3 находится ниже по течению грунтовых вод на расстоянии 30 метров от ближайшей карты.

Нанесём на график значения концентраций аммиака ( $\text{мг/дм}^3$ ) в каждом месяце отдельно по каждой из скважин (рисунок 11).

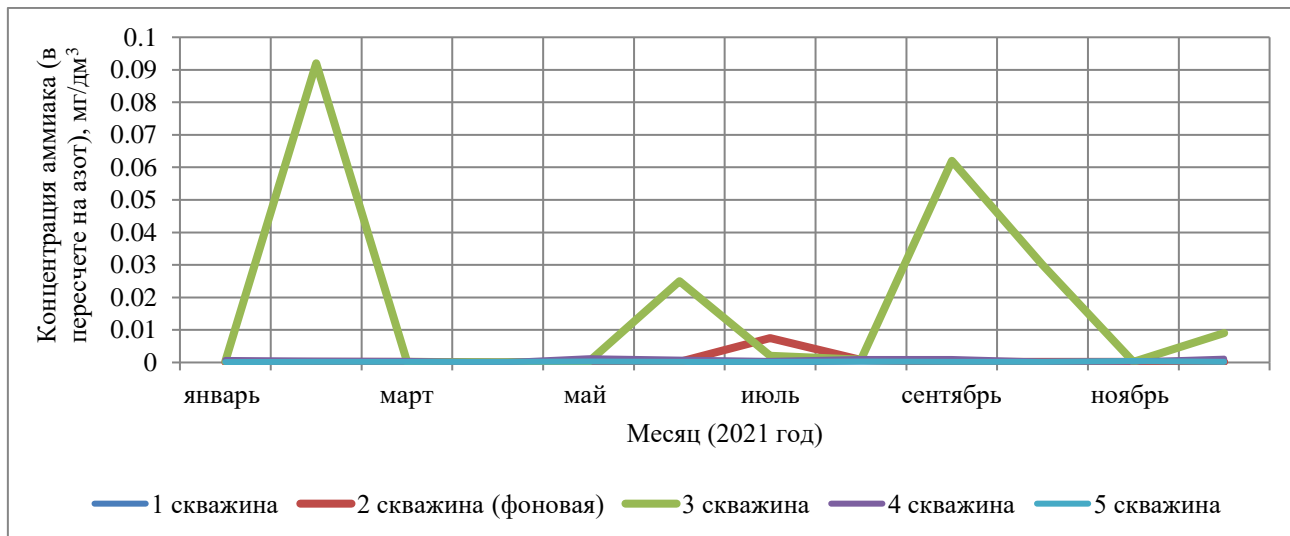


Рисунок 11 – Динамика концентраций аммиака в грунтовых водах за 2021 год на полигоне 3

Видим, что основной вклад в превышения вкладывают пробы, отобранные из скважины №3 в феврале, июне, сентябре, октябре и декабре. Также заметно, что значение концентрации аммиака в фоновой скважине №2 в июле 2021 года было выше среднегодовых в этой скважине, но в скважинах, расположенных ниже по течению грунтовых вод превышений не наблюдалось.

Исходя из данных мониторинга грунтовых вод, сравним вещества на полигонах 1, 2 и 3, которые вносят наибольший вклад в суммарное содержание загрязняющих веществ (рисунок 12).

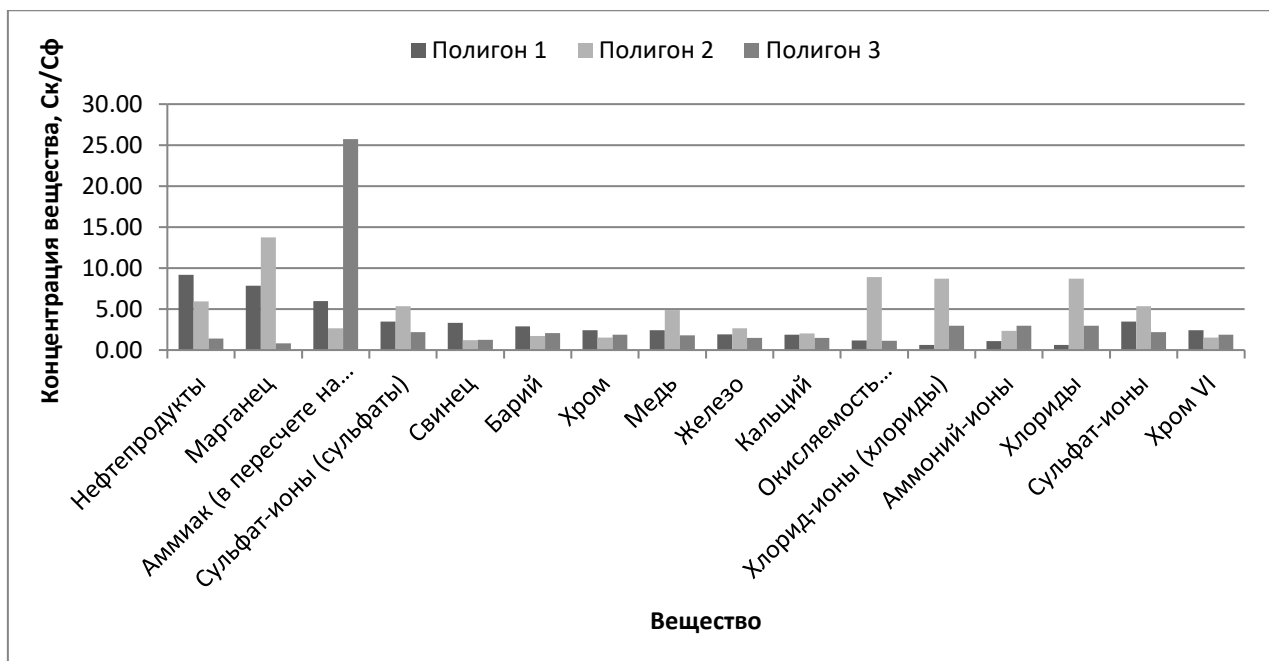


Рисунок 12 – Сравнение концентраций веществ в грунтовых водах на полигонах 1, 2, 3

Данная диаграмма демонстрирует среднегодовую концентрацию загрязняющих веществ на рассматриваемых полигонах, значения которых больше единицы. Устойчивой связи между показателями не наблюдается, что обусловлено различным составом размещаемых отходов, а также возрастом полигонов.

Концентрации стирола, акриламида, мышьяка, цианид-ионов (цианидов) на протяжении 2021 года на всех рассматриваемых объектах ниже предела обнаружения методики определения. Следовательно, можно сделать предположение, что данные вещества не приоритетны при проведении производственного экологического мониторинга. Рационально будет сократить периодичность отбора проб и их анализа по данным веществам с одного раза в месяц до раза в квартал и увеличивать периодичность при наблюдении превышения значения в контрольной скважине над фоновой.

Данное изменение поможет сократить расходы предприятия на проведение мониторинга и создаст возможность увеличить финансирование природоохранных мероприятий.

### 3.2.2 Поверхностные воды

В большинстве случаев вблизи полигонов отсутствуют водные объекты, подлежащие нормированию, такие как водоемы и водотоки, которым присвоена рыбохозяйственная категория. Пробы поверхностных вод вблизи полигонов обычно отбирают в ближайшем месте сосредоточения поверхностных вод в понижениях рельефа, дренажных каналах, пожарных водоемах и т.д. Перечень контролируемых показателей для поверхностных водных объектов вблизи полигонов не определен нормативно-правовыми документами Российской Федерации.

Согласно Программе производственного экологического мониторинга полигона 1, поверхностные воды контролируются по следующим показателям: аммиак, нитриты, нитраты, гидрокарбонаты, кальций, хлориды, железо, сульфаты, литий, ХПК, БПК, органический углерод, рН, магний, кадмий, хром, цианиды, свинец, ртуть, мышьяк, медь, барий, сухой остаток, взвешенные вещества, нефтепродукты, гельминтологические и бактериологические показатели.

Перечень загрязняющих веществ в поверхностных водах на полигоне 1 незначительно отличается от перечня для подземных вод. Для проведения сравнения по совпадающим показателям были использованы данные мониторинга подземных вод за апрель и июль 2021 года, так как мониторинг поверхностных вод проводился в эти месяцы.

Рассмотрим концентрации загрязняющих веществ в поверхностных водах и в скважинах на полигоне 1 в апреле и июле (рисунки 13 и 14). Так как на полигоне 1 есть шесть скважин для наблюдения за качеством грунтовых вод, для сравнения с поверхностными водами возьмём среднее значение концентраций веществ в этих скважинах. В июле в мелиоративной дренажной канаве, где располагается точка №1, не было воды, поэтому данные по ней отсутствуют.

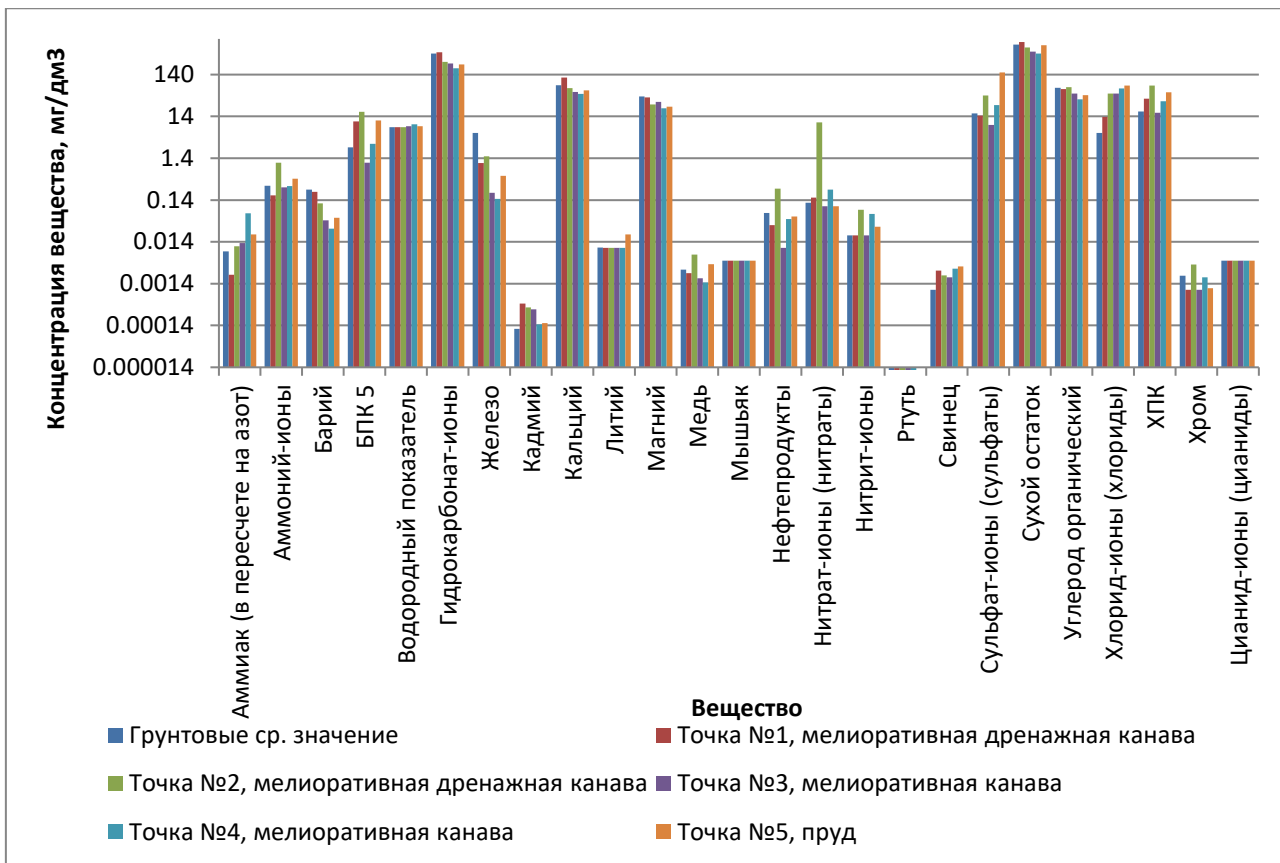


Рисунок 13 – Сравнение концентраций загрязняющих веществ в грунтовых и поверхностных водах в апреле на полигоне 1

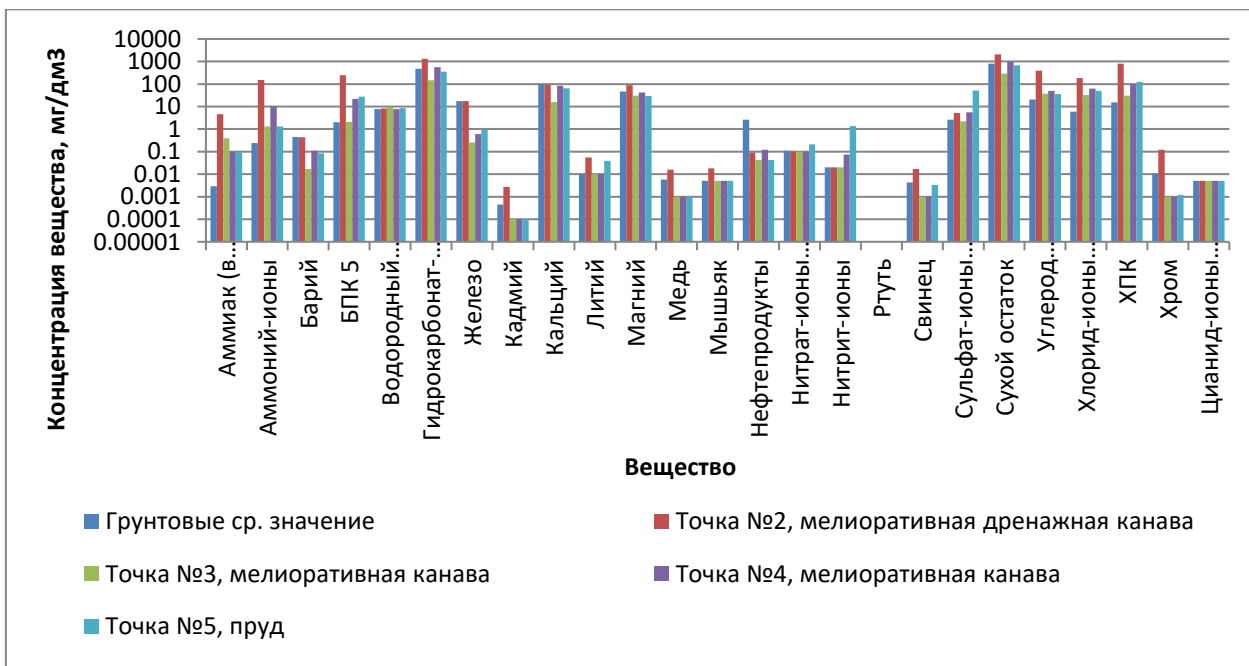


Рисунок 14 – Сравнение концентраций загрязняющих веществ в грунтовых и поверхностных водах в июле на полигоне 1

На диаграммах четко прослеживается связь концентраций загрязняющих веществ в грунтовых и поверхностных водах. Также был рассчитан коэффициент корреляции между концентрациями загрязняющих веществ в каждой точке отбора проб поверхностных вод и усредненного значения этих же веществ в грунтовых водах (таблица 6).

Таблица 6 – Коэффициенты корреляции между концентрациями веществ в грунтовых и поверхностных водах (полигон 1)

Поверхностные воды / Грунтовые воды	Точка №1, мелиоративная дренажная канава	Точка №2, мелиоративная дренажная канава	Точка №3, мелиоративная канава	Точка №4, мелиоративная канава	Точка №5, пруд
Ср. значения грунтовых вод (апрель)	1.00	0.98	0.99	0.98	0.95
Ср. значения грунтовых вод (июль)	-	0.93	0.98	0.99	0.98

Величина полученных коэффициентов свидетельствует о наличии сильной связи.

На полигоне 2 также выявлена тесная связь концентраций загрязняющих веществ в поверхностных и в грунтовых водах за июль и сентябрь 2021 года. На этом полигоне есть одна точка отбора проб поверхностных вод и две скважины для отбора проб грунтовых вод. Сравнение концентраций представлено на рисунках 15 и 16.

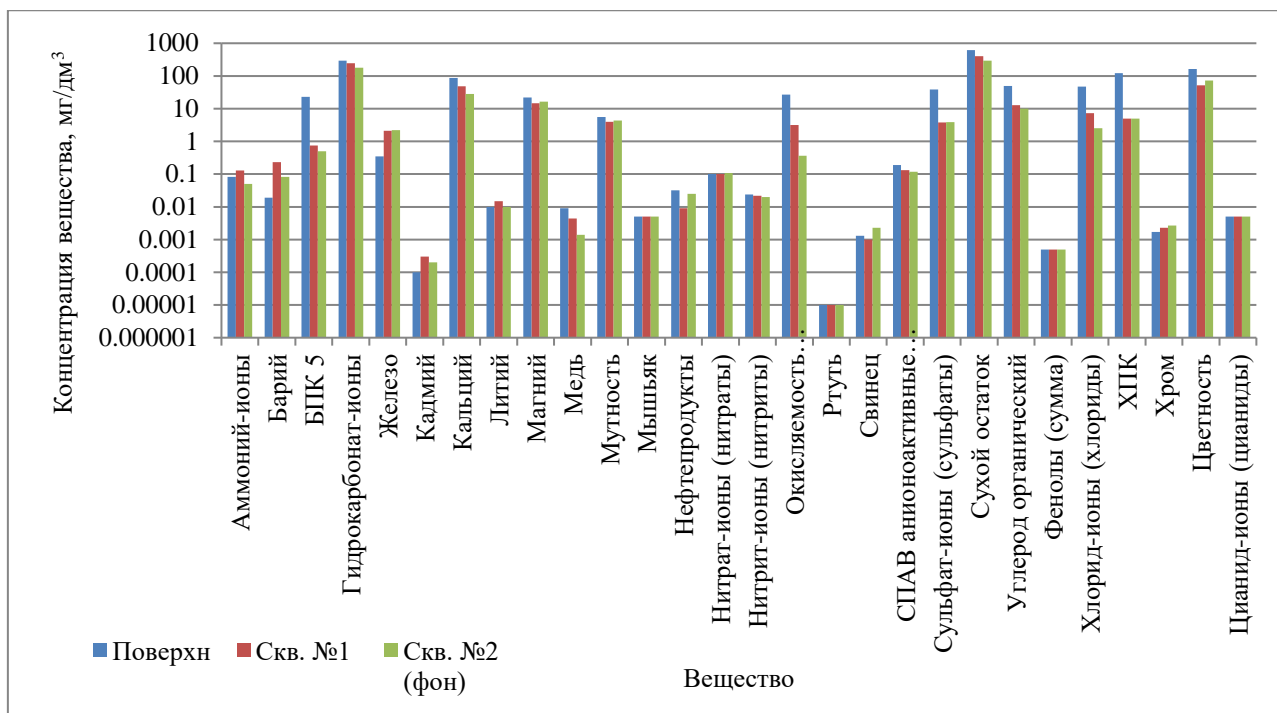


Рисунок 15 – Сравнение концентраций ЗВ в грунтовых и поверхностных водах на полигоне 2 (июль)

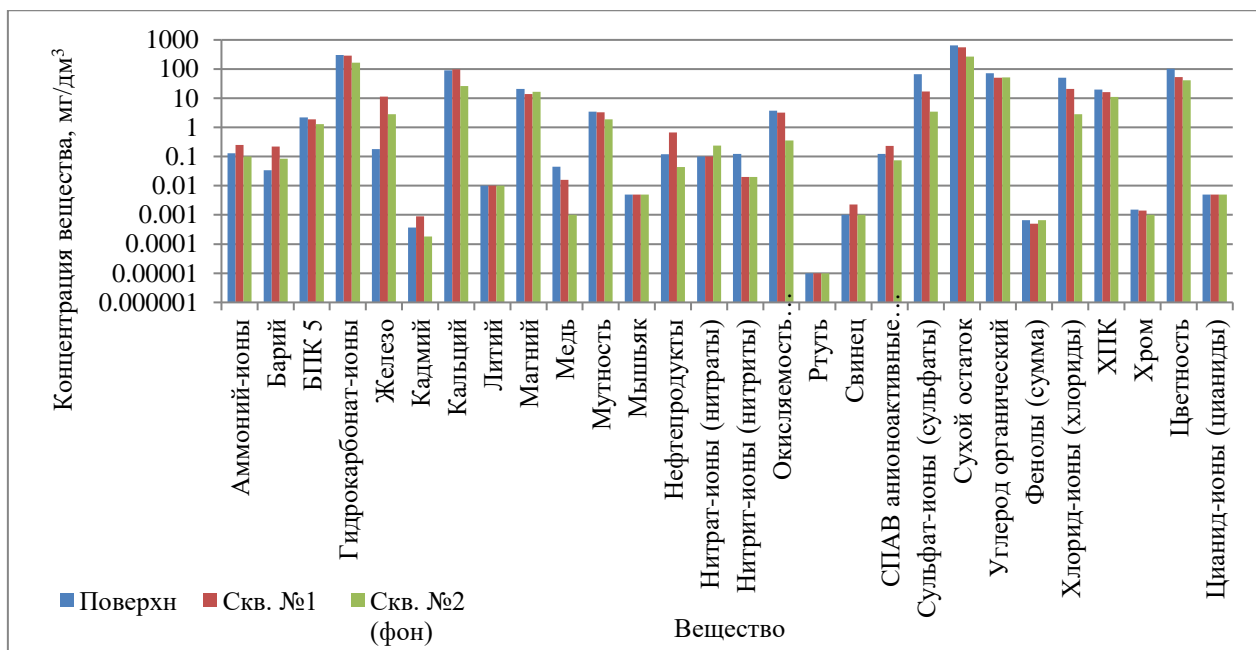


Рисунок 16 – Сравнение концентраций ЗВ в грунтовых и поверхностных водах на полигоне 2 (сентябрь)

Коэффициенты корреляции между подземными и поверхностными водами на полигоне 2 указаны в таблице 7.



Таблица 7 - Коэффициенты корреляции между концентрациями веществ в грунтовых и поверхностных водах (полигон 2)

Грунтовые воды	Ср. значения грунтовых вод в скважине №1	Ср. значения грунтовых вод в скважине №2
Поверхностные воды		
Значения поверхностных вод (июль)	0.97	0.97
Значения поверхностных вод (сентябрь)	0.99	0.98

Полученные значения коэффициента корреляции свидетельствует о тесной связи.

Сравнение концентраций в подземных и поверхностных водах в апреле и июль 2021 года на полигоне 3 представлено на рисунках 17 и 18.

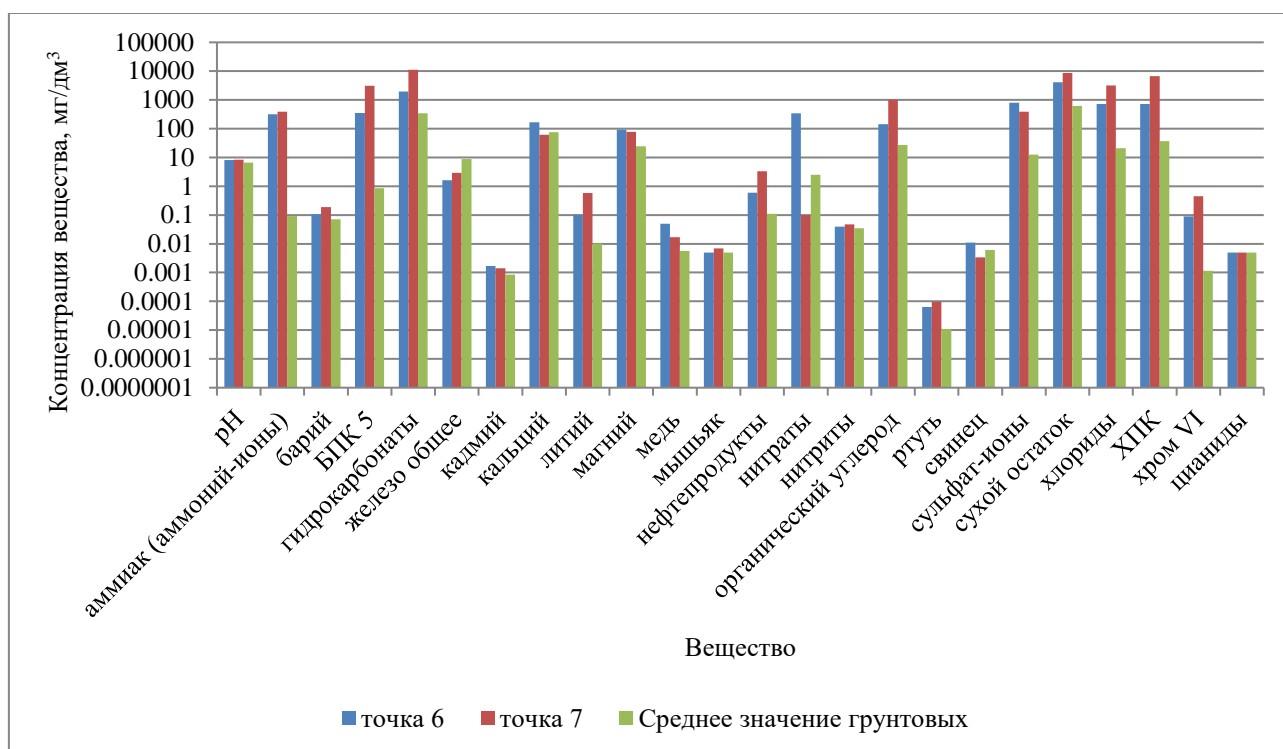


Рисунок 17 – Сравнение концентраций ЗВ в грунтовых и поверхностных водах на полигоне 3 (апрель)

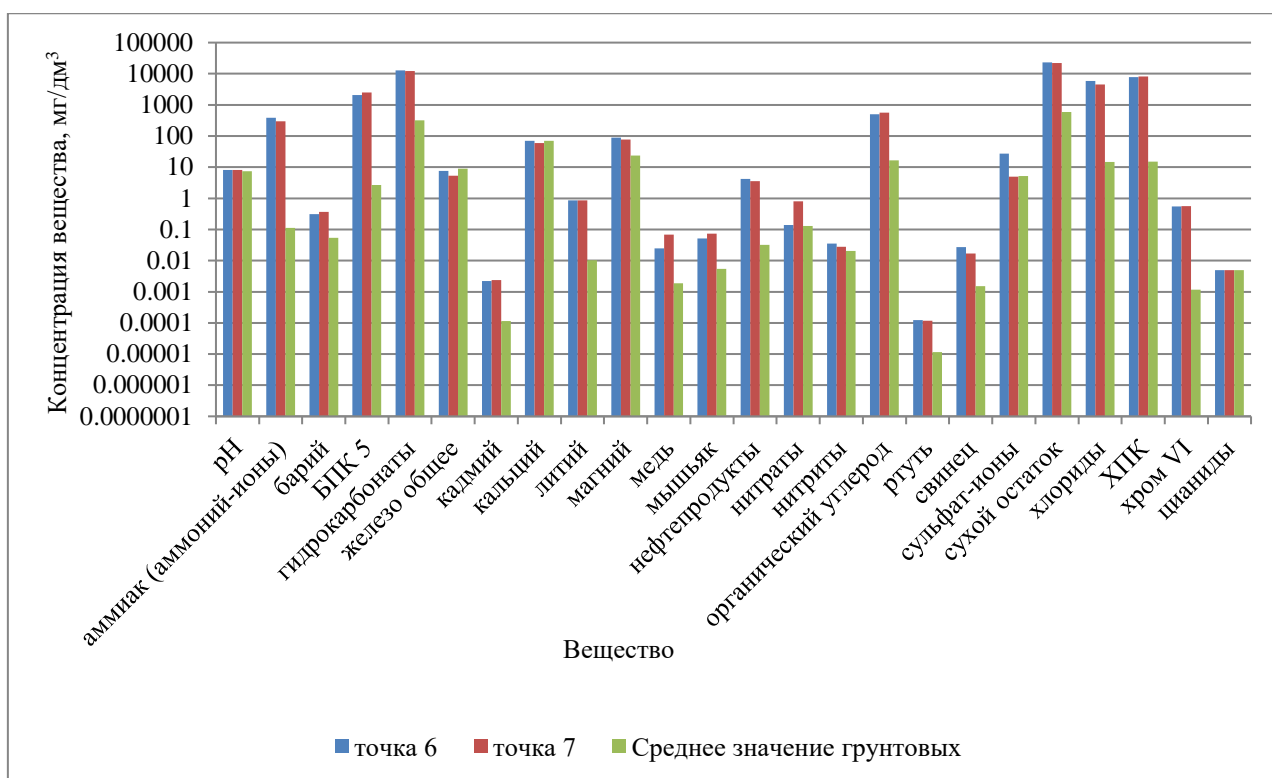


Рисунок 18 – Сравнение концентраций ЗВ в грунтовых и поверхностных водах на полигоне 3 (июль)

На полигоне 3 также выявлена тесная связь между концентрациями загрязняющих веществ в грунтовых и поверхностных водах. Полученные коэффициенты корреляции между концентрациями веществ в грунтовых и поверхностных водах указаны в таблице 8.

Таблица 8 – Коэффициенты корреляции между концентрациями веществ в грунтовых и поверхностных водах (полигон 3)

Поверхностные воды \ Грунтовые воды	точка 6	точка 7
Ср. значения грунтовых вод (апрель)	0.96	0.80
Ср. значения грунтовых вод (июль)	0.93	0.93

В апреле между точкой отбора 7 и грунтовыми водами наблюдалась высокая корреляция, в остальных рассмотренных случаях корреляция была очень высокой.

Из этого следует, что при мониторинге поверхностных вод рационально использовать перечень загрязняющих веществ, аналогичный перечню веществ для грунтовых вод.

### 3.2.3 Атмосферный воздух

Образующийся на полигонах ТКО биогаз неоднороден как во временном потоке, так и в пространственном. Его химический состав не имеет определенностей. Ситуация на каждом полигоне и в каждый момент времени уникальна. Наблюдая и фиксируя увеличение или уменьшение объёма образования биогаза, изменение его химического состава, можно делать предположения и выводы о том, какие химические и физические процессы происходят в толще отходов. Также такие изменения могут показывать, эффективны ли природоохранные мероприятия, которые реализуются на полигоне.

В РФ усредненным составом биогаза считается: метан, толуол, аммиак, ксилол, углерода оксид, сероводород, азота диоксид, формальдегид, этилбензол и ангидрид сернистый [28]. При проведении экологического мониторинга в пробах атмосферного воздуха измеряют концентрации метана, сероводорода, аммиака, окиси углерода, бензола, трихлорметана, четыреххлористого углерода, хлорбензола [23]. Документ, которым руководствуются, когда отбирают показатели, на основе которых будет проводиться мониторинг, утверждена ещё в 1996 году. Спустя 26 лет произошло много изменений, в том числе и в количестве и качестве (составе) потребляемых народонаселением товаров.

В целях повышения эффективности и качества мониторинга атмосферного воздуха можно провести актуализацию перечня показателей, подлежащих мониторингу на полигонах ТКО.

Оценим воздействие рассматриваемых полигонов на воздух с применением комплексного индекса загрязнения атмосферы (ИЗА). Он рассчитывается по формуле 2:

$$\text{ИЗА}(n) = \sum_{i=1}^n \left( \frac{q_{\text{ср}i}}{\text{ПДК}_{\text{с.с.}i}} \right)^{C_i} \quad (2)$$

где  $q_{\text{ср}i}$  – среднегодовая концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;  
 $\text{ПДК}_{\text{с.с.}i}$  – его среднесуточная предельно допустимая концентрация,  $\text{мкг}/\text{м}^3$ ;  
 $C_i$  – безразмерный коэффициент.

Значения  $C_i$  равны 1,5; 1,3; 1,0 и 0,85 соответственно для 1, 2, 3 и 4 классов опасности загрязняющего вещества [14].

На полигоне 1 наблюдения за качеством атмосферного воздуха проводятся в трёх точках: над отработанным участком полигона (точка № 1), на границе земельного участка (точка № 2) и на западной границе его СЗЗ - точка №3. Расчёт ИЗА для каждой точки представлен в таблицах 9-11.

Таблица 9 - Расчёт ИЗА над отработанным участком полигона (точка №1)

Загрязняющее вещество	$q_{\text{ср}i}$	ПДК <sub>сс</sub> , ОБУВ*, ПДК <sub>сг**</sub>	Класс опасности	$C_i$	$q_{\text{ср}i}/\text{ПДК}$	$(q_{\text{ср}i}/\text{ПДК})^{C_i}$
Метан	28.1500	50	4	0.9	0.56	0.60
Сероводород	0.0170	0.002	2	1.3	8.50	16.15
Аммиак	0.0218	0.1	4	0.9	0.22	0.25
Углерода оксид	0.7500	3	4	0.9	0.25	0.29
Бензол	0.0007	0.06	2	1.3	0.01	0.00
Трихлорметан	0.0005	0.03	2	1.3	0.02	0.00
Тетрахлорметан	0.0005	0.04	2	1.3	0.01	0.00
Хлорбензол	0.0005	0.06	3	1	0.01	0.01
ИЗА	17.31					

Таблица 10 - Расчёт ИЗА на границе земельного участка (точка № 2)

Загрязняющее вещество	$q_{срi}$	ПДКсс, ОБУВ*, ПДКсг**	Класс опасности	$C_i$	$q_{срi}/ПДК$	$(q_{срi}/ПДК)^{C_i}$
Метан	1.9500	50*	4	0.9	0.04	0.05
Сероводород	0.0055	0.002**	2	1.3	2.75	3.73
Аммиак	0.0325	0.1	4	0.9	0.33	0.36
Углерода оксид	0.7500	3	4	0.9	0.25	0.29
Бензол	0.0042	0.06	2	1.3	0.07	0.03
Трихлорметан	0.0020	0.03	2	1.3	0.07	0.03
Тетрахлорметан	0.0005	0.04	2	1.3	0.01	0.00
Хлорбензол	0.0006	0.06**	3	1	0.01	0.01
ИЗА	4.50					

Таблица 11 - Расчёт ИЗА на западной границе ССЗ (точка № 3)

Загрязняющее вещество	$q_{срi}$	ПДКсс, ОБУВ*, ПДКсг**	Класс опасности	$C_i$	$q_{срi}/ПДК$	$(q_{срi}/ПДК)^{C_i}$
Метан	1.7250	50*	4	0.9	0.03	0.05
Сероводород	0.0055	0.002**	2	1.3	2.75	3.73
Аммиак	0.0265	0.1	4	0.9	0.27	0.30
Углерода оксид	0.7500	3	4	0.9	0.25	0.29
Бензол	0.0006	0.06	2	1.3	0.01	0.00
Трихлорметан	0.0005	0.03	2	1.3	0.02	0.00
Тетрахлорметан	0.0005	0.04	2	1.3	0.01	0.00
Хлорбензол	0.0005	0.06**	3	1	0.01	0.01
ИЗА	4.38					

Интерпретация полученных значений ИЗА осуществляется на основе таблицы 12.

Таблица 12 - Критерий оценки состояния загрязнения атмосферы по комплексному ИЗА [14]

Показатель состояния	Классы экологического состояния атмосферы			
	норма (низкий)	риск (повышенный)	кризис (высокий)	бедствие (очень высокий)
Уровень загрязнения воздуха	ИЗА<5	7>ИЗА≥5	14>ИЗА≥7	ИЗА≥14

Получаем, что на границе земельного участка и на западной границе ССЗ уровень загрязнения атмосферы низкий, класс экологического состояния атмосферы – «норма», а над отработанным участком полигона уровень загрязнения очень высокий и класс состояния «бедствие».

На полигоне 2 мониторинг атмосферного воздуха проводится ежеквартально в следующих местах отбора проб: точка №1 – над отработанным участком ОРО; точка №2 – на границе земельного участка, на котором расположен полигон в северо-восточном направлении; точка №3 – на границе СЗЗ в северо-восточном направлении; точка №4 – на границе СЗЗ в юго-западном направлении. Расчёт ИЗА для каждой точки представлен в таблицах 13-16.

Таблица 13 - Расчёт ИЗА над отработанным участком полигона (точка №1)

Загрязняющее вещество	$q_{срi}$	ПДК <sub>сс</sub> , ОБУВ*, ПДК <sub>сг</sub> **	Класс опасности	$C_i$	$q_{срi}/ПДК$	$(q_{срi}/ПДК)^{C_i}$
Метан	3.525	50*	4	0.9	0.07	0.09
Сероводород	0.006	0.002**	2	1.3	3.00	4.17
Аммиак	0.02	0.1	4	0.9	0.20	0.23
Углерода оксид	0.75	3	4	0.9	0.25	0.29
Бензол	0.000825	0.06	2	1.3	0.01	0.00
Трихлорметан	0.0005	0.03	2	1.3	0.02	0.00
Тетрахлорметан	0.0005	0.04	2	1.3	0.01	0.00
Хлорбензол	0.0005	0.06**	3	1	0.01	0.01
ИЗА	4.81					

Таблица 14 - Расчёт ИЗА на границе земельного участка в северо-восточном направлении (точка №2)

Загрязняющее вещество	$q_{срi}$	ПДКсс, ОБУВ*, ПДКст**	Класс опасности	$C_i$	$q_{срi}/ПДК$	$(q_{срi}/ПДК)^{C_i}$
Метан	6.975	50*	4	0.9	0.14	0.17
Сероводород	0.006	0.002**	2	1.3	3.00	4.17
Аммиак	0.02	0.1	4	0.9	0.20	0.23
Углерода оксид	0.75	3	4	0.9	0.25	0.29
Бензол	0.00105	0.06	2	1.3	0.02	0.01
Трихлорметан	0.00065	0.03	2	1.3	0.02	0.01
Тетрахлорметан	0.0005	0.04	2	1.3	0.01	0.00
Хлорбензол	0.000575	0.06**	3	1	0.01	0.01
ИЗА	4.89					

Таблица 15 - Расчёт ИЗА на границе СЗЗ в северо-восточном направлении (точка №3)

Загрязняющее вещество	$q_{срi}$	ПДКсс, ОБУВ*, ПДКст**	Класс опасности	$C_i$	$q_{срi}/ПДК$	$(q_{срi}/ПДК)^{C_i}$
Метан	5.2	50*	4	0.9	0.10	0.13
Сероводород	0.006	0.002**	2	1.3	3.00	4.17
Аммиак	0.02	0.1	4	0.9	0.20	0.23
Углерода оксид	0.75	3	4	0.9	0.25	0.29
Бензол	0.00063	0.06	2	1.3	0.01	0.00
Трихлорметан	0.0005	0.03	2	1.3	0.02	0.00
Тетрахлорметан	0.0005	0.04	2	1.3	0.01	0.00
Хлорбензол	0.0005	0.06**	3	1	0.01	0.01
ИЗА	4.84					

Таблица 16 - Расчёт ИЗА на границе СЗЗ в юго-западном направлении (точка №4)

Загрязняющее вещество	$q_{срi}$	ПДК <sub>сс</sub> , ОБУВ*, ПДК <sub>сг</sub> **	Класс опасности	$C_i$	$q_{срi}/ПДК$	$(q_{срi}/ПДК)^{C_i}$
Метан	1.475	50*	4	0.9	0.03	0.04
Сероводород	0.006	0.002**	2	1.3	3.00	4.17
Аммиак	0.02	0.1	4	0.9	0.20	0.23
Углерода оксид	0.75	3	4	0.9	0.25	0.29
Бензол	0.00065	0.06	2	1.3	0.01	0.00
Трихлорметан	0.0005	0.03	2	1.3	0.02	0.00
Тетрахлорметан	0.0005	0.04	2	1.3	0.01	0.00
Хлорбензол	0.0005	0.06**	3	1	0.01	0.01
ИЗА	4.75					

Видим, что во всех точках отбора проб значение полученного ИЗА не превышает 5, что, в соответствии с таблицей 12, говорит о том, что уровень загрязнения атмосферы низкий, класс экологического состояния атмосферы – «норма».

На полигоне 3 наблюдение за качеством атмосферного воздуха проводилось в 5 точках: над отработанным участком объекта размещения отходов (точка №1), на южной границе СЗЗ (точка № 2), на западной границе ССЗ (точка № 3). Расчёт ИЗА для каждой точки представлен в таблицах 17-19.

Таблица 17 - Расчёт ИЗА над отработанным участком полигона (точка №1)

Загрязняющее вещество	$q_{срi}$	ПДК <sub>сс</sub> , ОБУВ*, ПДК <sub>сг</sub> **	Класс опасности	$C_i$	$q_{срi}/ПДК$	$(q_{срi}/ПДК)^{C_i}$
Метан	5.825	50	4	0.9	0.12	0.14
Сероводород	0.004	0.002	2	1.3	2.00	2.46
Аммиак	0.02	0.1	4	0.9	0.20	0.23
Углерода оксид	0.75	3	4	0.9	0.25	0.29
Бензол	0.00113	0.06	2	1.3	0.02	0.01



Загрязняющее вещество	$q_{срi}$	ПДК <sub>сс</sub> , ОБУВ*, ПДК <sub>ст</sub> **	Класс опасности	$C_i$	$q_{срi}/ПДК$	$(q_{срi}/ПДК)^{C_i}$
Трихлорметан	0.0024	0.03	2	1.3	0.08	0.04
Тетрахлорметан	0.001375	0.04	2	1.3	0.03	0.01
Хлорбензол	0.0005	0.06	3	1	0.01	0.01
ИЗА	3.19					

Таблица 18 - Расчёт ИЗА на южной границе СЗЗ (точка №2)

Загрязняющее вещество	$q_{срi}$	ПДК <sub>сс</sub> , ОБУВ*, ПДК <sub>ст</sub> **	Класс опасности	$C_i$	$q_{срi}/ПДК$	$(q_{срi}/ПДК)^{C_i}$
Метан	2.4	50	4	0.9	0.05	0.07
Сероводород	0.004	0.002	2	1.3	2.00	2.46
Аммиак	0.0155	0.1	4	0.9	0.16	0.19
Углерода оксид	0.7125	3	4	0.9	0.24	0.27
Бензол	0.000545	0.06	2	1.3	0.01	0.00
Трихлорметан	0.000625	0.03	2	1.3	0.02	0.01
Тетрахлорметан	0.0005	0.04	2	1.3	0.01	0.00
Хлорбензол	0.0005	0.06	3	1	0.01	0.01
ИЗА	3.01					

Таблица 19 - Расчёт ИЗА на западной границе ССЗ (точка №3)

Загрязняющее вещество	$q_{срi}$	ПДК <sub>сс</sub> , ОБУВ*, ПДК <sub>ст</sub> **	Класс опасности	$C_i$	$q_{срi}/ПДК$	$(q_{срi}/ПДК)^{C_i}$
Метан	1.45	50	4	0.9	0.03	0.04
Сероводород	0.004	0.002	2	1.3	2.00	2.46
Аммиак	0.02	0.1	4	0.9	0.20	0.23
Углерода оксид	0.75	3	4	0.9	0.25	0.29
Бензол	0.000625	0.06	2	1.3	0.01	0.00
Трихлорметан	0.001125	0.03	2	1.3	0.04	0.01

Загрязняющее вещество	$q_{срi}$	ПДК <sub>сс</sub> , ОБУВ*, ПДК <sub>ст</sub> **	Класс опасности	$C_i$	$q_{срi}/ПДК$	$(q_{срi}/ПДК)^{C_i}$
Тетрахлорметан	0.0013	0.04	2	1.3	0.03	0.01
Хлорбензол	0.0005	0.06	3	1	0.01	0.01
ИЗА	3.06					

На полигоне 3 получились наименьшие значения ИЗА из всех полученных по трём полигонам. Они показывают, что уровень загрязнения атмосферы во всех точках низкий, класс экологического состояния атмосферы – «норма».

### 3.2.4 Почвы

Для оценки воздействия рассматриваемых полигонов на почвы используем суммарный показатель загрязненности. Он определяется по формуле 3 [9]:

$$Z_c = (K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n - 1), \quad (3)$$

где  $n$  – количество загрязняющих веществ в почве,

$K_{ci}$  – коэффициент концентрации  $i$ -го вещества.

Коэффициент  $K_{ci}$  вычисляется по формуле 4:

$$K_{ci} = \frac{C_i}{C_{\phi i}}, \quad (4)$$

где  $C_i$  – полученное значение концентрации  $i$ -го вещества в почве,

$C_{\phi i}$  – региональное фоновое значение.

В таблице 20 представлена интерпретация получаемых при расчете суммарного показателя загрязненности значений.

Таблица 20 - Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю загрязненности [9]

Категории загрязнения почв	Величина $Z_c$	Изменения показателей здоровья населения в очагах загрязнения
Допустимая	Менее 16	Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений
Умеренно опасная	16-32	Увеличение общей заболеваемости
Опасная	32-128	Увеличение общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы
Чрезвычайно опасная	Более 128	Увеличение заболеваемости детского населения, нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение токсикозов беременности, числа преждевременных родов, мертворождаемости, гипотрофий новорожденных)

На полигоне 1 исследования почвы в 2021 году производились в 3 квартале на 5-ти пробоотборных площадках. Площадки №№ 1, 2, 3 расположены в пределах СЗЗ на расстоянии 100-150 м от границ объекта размещения отходов. Площадка №4 расположена за пределами СЗЗ на удалении 350-400 м (по преобладающему направлению ветров) – условно фоновая точка. Площадка №5 – на границе земельного участка, на котором расположен объект размещения отходов.

Результаты проведенного анализа проб почвы в июле 2021 года на полигоне 1 представлены в таблице 21.

Таблица 21 - Результаты исследований почвенного покрова на полигоне 1

Наименование показателя	Ед. изм.	Фоновое содержание по справочник у Комитета ЛО	пункт №1 (в пределах СЗЗ)	пункт № 2 (в пределах СЗЗ)	пункт № 3 (в пределах СЗЗ)	пункт №4 (за пределом и СЗЗ, фон)	пункт № 5 (на границе участка полигона)
Водородный показатель солевой вытяжки	ед. рН	-	6.8	6.8	7.1	6.4	7.7
Ртуть	мг/кг	0.01	0.1	0.033	0.016	0.036	0.053
Нитраты (нитрат-ионы)	мг/кг	-	13.2	113	24	19	57
Бенз[а]пирен	мг/кг	0.005	0.013	<0,005	<0,005	<0,005	0.05
Нефтепродукты	мг/кг	10.9	53	33	<20	47	2300

Продолжение таблицы 21

Наименование показателя	Ед. изм.	Фоновое содержание по справочнику у Комитета ЛО	пункт №1 (в пределах СЗЗ)	пункт № 2 (в пределах СЗЗ)	пункт № 3 (в пределах СЗЗ)	пункт №4 (за пределами СЗЗ, фон)	пункт № 5 (на границе участка полигона)
Марганец валовое содержание	мг/кг	505	200	380	250	300	550
Мышьяк валовое содержание	мг/кг	0.05	1.3	0.8	1.2	1.1	1.1
Кадмий валовое содержание	мг/кг	0.37	0.052	<0,05	<0,05	<0,05	0.6
Хром валовое содержание	мг/кг	11	146	20	19	26	91
Медь валовое содержание	мг/кг	7.3	17	26	8.4	9.2	27
Свинец валовое содержание	мг/кг	1.75	11.5	8.4	6.8	12	28
Цинк валовое содержание	мг/кг	35	32	133	24	45	118
Цианид-ионы	мг/кг	-	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Азот нитритов	мг/кг	-	>0,56	>0,56	0.33	>0,56	0.51
Кобальт валовое содержание	мг/кг	4.9	7	6.5	6.1	8	11
Органическое вещество	%	-	9.9	6.5	2.4	4.4	2.3
Бикарбонат-ионы	ммоль/100г	-	0.32	0.34	0.21	0.22	0.32
Индекс БГКП	клеток/г	-	10	10	100	10	1000
Индекс энтерококков	клеток/г	-	10	1	10	1	100
Патогенные бактерии, в т.ч. сальмонеллы (индекс)	КОЕ/г	-	0	0	0	0	0
Общее микробное число (ОМЧ)	КОЕ/г	-	24000	140000	380000	18000	1100000
Коли-титр	-	-	0.1	0.1	0.01	0.1	0.001
Титр-протей	-	-	>1	>1	>1	>1	>1
Жизнеспособные яйца гельминтов опасные для человека и животных	Экз/кг	-	0	0	0	0	0
Цисты (ооцисты) патогенных кишечных простейших	Экз/100 г	-	0	0	0	0	0

При составлении программы ПЭМ оценка загрязненности почвы осуществляется путём сравнения значений концентраций веществ в контрольных точках и в точке, принятой за фоновую (в данном случае эту роль выполняет точка 4).

Рассчитаем суммарный показатель загрязненности для веществ, по которым имеются значения фонового содержания для почв Ленинградской области, используя формулы 2 и 3. Результаты расчетов приведены в таблице 22.

Таблица 22 - Суммарный показатель загрязненности почв полигона 1

Наименование показателя	K <sub>ci</sub> , пункт №1	K <sub>ci</sub> , пункт №2	K <sub>ci</sub> , пункт №3	K <sub>ci</sub> , пункт №4	K <sub>ci</sub> , пункт №5
Ртуть	10	3.3	1.6	3.6	5.3
Бенз[а]пирен	2.6	1	1	1	10
Нефтепродукты	4.86	3.03	1.83	4.31	211.01
Марганец валовое содержание	0.40	0.75	0.50	0.59	1.09
Мышьяк валовое содержание	26	16	24	22	22
Кадмий валовое содержание	0.14	0.14	0.14	0.14	1.62
Хром валовое содержание	13.27	1.82	1.73	2.36	8.27
Медь валовое содержание	2.33	3.56	1.15	1.26	3.70
Свинец валовое содержание	6.57	4.80	3.89	6.86	16.00
Цинк валовое содержание	0.91	3.80	0.69	1.29	3.37
Кобальт валовое содержание	1.43	1.33	1.24	1.63	2.24
Z <sub>c</sub>	58.51	29.52	27.76	35.04	274.61

В соответствии с таблицей 20 почвы в пунктах 2 и 3 относятся к категории «умеренно опасные», в пунктах 1 и 4 относятся к категории «опасные», а в пункте 5 к категории «чрезвычайно опасные».

По показателям, фоновые значения которых не определены в справочнике Комитета ЛО, при сравнении их с выбранной фоновой точкой 4 также есть превышения. Водородный показатель солевой вытяжки превышает фоновые значения во всех контрольных точках, такая же ситуация с общим микробным числом (в точке 5 значение в контрольной точке превышает фоновое в 61 раз, в точке 3 в 21 раз, в точке 2 в 7,7 раз, а точке 1 в 1,3 раза). Также в некоторых точках наблюдаются превышения фоновых значений по нитратам, органическому веществу, бикарбонат-ионам, индексу БГПК и индексу энтерококков.

Нет превышений в контрольных точках по цианид-ионам, азоту нитритному, патогенным бактериям, коли-титру, титру-протей, жизнеспособным яйцам гельминтов и цистам патогенных кишечных простейших.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что полигон 1 оказывает значительное влияние на состояние почв в месте его расположения.

Контроль уровней загрязнения почв в зоне возможного влияния полигона 2 проводился в сентябре 2021 года в следующих местах отбора:

- точка №8 – На границе СЗЗ на расстоянии 500 метров от полигона вдоль преобладающего вектора розы ветров в северо-восточном направлении;
- точка №9 – На границе земельного участка вдоль преобладающего вектора розы ветров в северо-восточном направлении;
- точка №10 – На границе СЗЗ в 500 метрах от полигона в юго-западном направлении с наветренной стороны. Используется как фоновая.

Результаты проведенного анализа проб почвы в сентябре 2021 года на полигоне 2 представлены в таблице 23.

Таблица 23 - Результаты исследований почвенного покрова на полигоне 2

Наименование показателя	Ед. изм.	Фоновое содержание по справочнику Комитета ЛО	Точка №8	Точка №9	Точка №10
Водородный показатель солевой вытяжки	ед. рН	-	3.5	3.7	2.8
Ртуть	мг/кг	0.01	0.09	0.047	0.14
Нитрат-ион	мг/кг	-	<1	<1	<1
Бенз[а]пирен	мг/кг	0.005	0.017	0.008	0.037
Нефтепродукты	мг/кг	10.9	80	57	380
Марганец валовое содержание	мг/кг	505	110	310	15
Мышьяк валовое содержание	мг/кг	0.05	<0,1	0.48	0.9
Кадмий валовое содержание	мг/кг	0.37	0.1	<0,05	0.17
Хром валовое содержание	мг/кг	11	18	17	2.7
Медь валовое содержание	мг/кг	7.3	6.2	4.5	3.9
Никель валовое содержание	мг/кг	-	2.4	2.9	<0,1
Свинец валовое содержание	мг/кг	1.75	19	16	24
Цинк валовое содержание	мг/кг	35	25	30	17
Цианид-ионы	мг/кг	-	<0,5	<0,5	<0,5
Кобальт валовое содержание	мг/кг	4.9	5.8	6.9	0.9
Органическое вещество	%	-	10.9	4.2	>15
Азот нитритов	мг/кг	-	0.067	0.052	0.068
Бикарбонат-ионы	ммоль/100г	-	<0,1	<0,1	<0,1
Индекс БГКП	кл/г	-	100	<1	1
Индекс энеорокков	кл/г	-	<1	<1	<1
Патогенные бактерии, в т.ч. Сальмонеллы	КОЕ/г	-	0	0	0
Цисты (ооцисты) патогенных кишечных простейших	экз/100 г	-	0	0	0
Жизнеспособные яйца гельминтов опасные для человека и животных	экз/кг	-	0	0	0
Куколки синантропных мух, в почве с площадью 20*20 см	экз	-	0	0	0
Личинки синантропных мух	экз	-	0	0	0

Значения суммарного показателя загрязненности для веществ, по которым имеются значения фонового содержания для почв Ленинградской области, приведены в таблице 24.

Таблица 24 - Суммарный показатель загрязненности почв полигона 2

Наименование показателя	K <sub>ci</sub> , пункт №8	K <sub>ci</sub> , пункт №9	K <sub>ci</sub> , пункт №10
Ртуть	9	4.7	14
Бенз[а]пирен	3.4	1.6	7.4
Нефтепродукты	7.34	5.23	34.86
Марганец валовое содержание	0.22	0.61	0.03
Мышьяк валовое содержание	2	9.6	18
Кадмий валовое содержание	0.27	0.14	0.46
Хром валовое содержание	1.64	1.55	0.25
Медь валовое содержание	0.85	0.62	0.53
Свинец валовое содержание	10.86	9.14	13.71
Цинк валовое содержание	0.71	0.86	0.49
Кобальт валовое содержание	1.18	1.41	0.18
Z <sub>c</sub>	27.47	25.45	79.91

В соответствии с таблицей 20 почвы пунктов отбора проб 8 и 9 относятся к категории «умеренно опасные», а почвы пункта 10, значения концентраций веществ в которой используются как фоновые, к категории «опасные».

При сравнении оставшихся показателей контрольных точек с значениями в точке 10, которые приняты за фоновые, наблюдаются превышения водородного показателя солевой вытяжки и валового содержания никеля в точках 8 и 9, а также в токе 8 есть превышение в 100 раз индекса БГПК. По другим показателям превышений нет.



На полигоне 2 наблюдается совсем другая картина, нежели на полигоне 1. Здесь почвы в пункте отбора проб №10, принятом за фоновые значения, более загрязненные, чем в других пунктах. Однако, в отличие от полигона 1, эта точка не находится за пределами СЗЗ. В целом, наблюдается заметное воздействие полигона 2 на почвы в месте его расположения, но меньшее, чем на полигоне 1.

Контроль уровней загрязнения почв в зоне возможного влияния полигона 3 проводился в июле 2021 года в трёх точках отбора проб: точка №8 расположена над отработанной картой полигона, точка №9 расположена на расстоянии 1 км от полигона в западном направлении, точка №11 расположена на расстоянии 500 м от полигона в западном направлении на границе СЗЗ (значения концентраций в этой точке приняты за фоновые).

Результаты проведенного анализа проб почвы в июле 2021 года на полигоне 3 представлены в таблице 25.

Таблица 25 - Результаты исследований почвенного покрова на полигоне 3

Наименование показателя	Ед. изм.	Фоновое содержание по справочнику Комитета ЛО	Точка №8	Точка №9	Точка №11
Водородный показатель	мг/кг	-	7.1	6.4	4.3
Органическое вещество	%	-	1.7	3.3	10.6
Кадмий	мг/кг	0.37	0.051	<0,05	0.15
Кобальт	мг/кг	4.9	9	10	5.4
Марганец	мг/кг	505	380	320	82
Медь	мг/кг	7.3	14.7	10.1	21
Мышьяк	мг/кг	0.05	0.9	1.7	<0,05
Ртуть	мг/кг	0.01	0.034	0.028	0.06
Свинец	мг/кг	1.75	15	14	24
Хром общий	мг/кг	11	25	29	28
Цинк	мг/кг	35	47	43	19
Бикарбонат-ионы	ммоль/100г	-	0.32	0.25	<0,1
Азот нитритов в пересчете на нитраты	мг/кг	-	<0,56	0.09	0.22
Нитраты	мг/кг	-	200	3.6	35
Нефтепродукты	мг/кг	10.9	90	<20	21
3,4-бенз(а)пирен	мг/кг	0.005	0.0062	<0,005	<0,005
Цианиды	мг/кг	-	<0,5	<0,5	<0,5

Наименование показателя	Ед. изм.	Фоновое содержание по справочнику Комитета ЛО	Точка №8	Точка №9	Точка №11
Общее микробное число (ОМЧ),	КОЕ/г	-	84	272	26
Коли-титр		-	0.001	>1	>1
Титр протей		-	>1,0	>1,0	>1,0
Индекс энтерококков	-	-	1000	10	1
Патогенные энтеробактерии	КОЕ/г	-	0	0	0
Яйца геогельминтов	экз/кг	-	0	0	0
Цисты кишечных патогенных простейших	экз/100г	-	0	0	0
Личинки синантропных мух	экз	-	0	0	0

Значения суммарного показателя загрязненности для веществ, по которым имеются значения фонового содержания для почв Ленинградской области, приведены в таблице 26.

Таблица 26 - Суммарный показатель загрязненности почв полигона 3

Наименование показателя	К <sub>сi</sub> , пункт №8	К <sub>сi</sub> , пункт №9	К <sub>сi</sub> , пункт №11
Ртуть	3.4	2.8	6
Бенз[а]пирен	1.24	1	1
Нефтепродукты	8.26	1.83	1.93
Марганец валовое содержание	0.75	0.63	0.16
Мышьяк валовое содержание	18	34	1
Кадмий валовое содержание	0.14	0.14	0.41
Хром валовое содержание	2.27	2.64	2.55
Медь валовое содержание	2.01	1.38	2.88
Свинец валовое содержание	8.57	8.00	13.71
Цинк валовое содержание	1.34	1.23	0.54
Кобальт валовое содержание	1.84	2.04	1.10
Z <sub>c</sub>	37.82	45.69	21.28

В соответствии с таблицей 20 почвы точек отбора проб 8 и 9 относятся к категории «опасные», а почвы точки 11, значения концентраций веществ в которой используются как фоновые, к категории «умеренно опасные».

При сравнении значений концентраций показателей в контрольных точках 8 и 9 с фоновой 11 точкой получается следующая картина: в обеих точках превышения по водородному показателю, бикарбонат-ионам, общему микробному числу и индексу энтерококков, в точке №8 еще есть превышения по нитритному азоту и нитратам. По остальным показателям превышений нет.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что полигон 3 оказывает влияние на почвы местности.

#### Глава 4. Предложения по повышению эффективности экологического мониторинга

В качестве главного различия между российской и зарубежными системами мониторинга хочется выделить мониторинг фильтра, образующегося на полигонах. В отличие от других стран, в России нет регламента, в соответствии с которым производился бы мониторинг качественного и количественного состава фильтрата. Такой вид мониторинга внёс бы значительный вклад в установление негативного воздействия полигона на подземные и поверхностные воды, ибо сведения о составе фильтрата делают возможным выявить загрязнение подземных и поверхностных вод фильтрационными водами.

Следующим пунктом хочется отметить проведение температурного мониторинга свалочных масс. Такой вид мониторинга является важным инструментом для своевременной идентификации в теле полигона областей, температура которых начинает повышаться, и принятию мер для недопуска их возгорания.

Таким образом, руководствуясь сведениями о воздействии полигонов ТКО на окружающую природную среду, целесообразно осуществлять экологический мониторинг таких элементов, как подземные и поверхностные воды, фильтрационные воды, атмосферный воздух, шумовое воздействие, почвы и температура свалочных масс.

Состояние растительного мира на территориях, на которые оказывает воздействие полигоны ТКО, следует оценивать при обнаружении загрязнения почв, поверхностных и (или) грунтовых вод. Исходя из наличия свидетельств об угнетенном состоянии растительности, должен производиться мониторинг состояния животного мира.

#### 4.1 Подземные и поверхностные воды

Как говорилось выше, очень важно проводить мониторинг качественного и количественного состава фильтрационных вод, образующихся на полигоне. С помощью такого мониторинга можно выделить определённые показатели для мониторинга подземных вод, которые наиболее подвержены влиянию воздействия конкретного полигона. Данный мониторинг следует проводить в отношении основных компонентов состава фильтрата.

Опираясь на проведенный анализ данных экологического мониторинга по трём полигонам ТКО, находящихся на территории Ленинградской области, предлагается внести изменения в перечень показателей, в отношении которых проводится исследования. Так, на всех трёх полигонах концентрации таких показателей, как стирол, акриламид и цианид-ионы (цианиды) были ниже предела обнаружения методик, по которым их определяют.

Одновременно с этим, определить единый список показателей, чей вклад в загрязнение подземных вод является наибольшим, не предоставляется возможным, так как на каждом полигоне имеются существенные различия в «лидерах» такого рейтинга.

Для полигона 1 характерно загрязнение грунтовых вод нефтепродуктами (15%), марганцем (13%), аммиаком (10%), и сульфатами (6%). Главными загрязняющими веществами на полигоне 2 являются марганец (17%), окисляемость перманганатная (11%), хлорид-ионы (хлориды) (11%), нефтепродукты (7%) и сульфаты (7%). А на полигоне 3 основной вклад в загрязнение подземных вод вносит аммиак (39%), нитраты (5%) и хлориды (5%).

Исходя из этого, приходим к выводу о том, что на каждом полигоне ТКО свой уникальный состав. Опираясь на сведения о составе фильтрата на конкретном полигоне, можно выработать оптимальный набор показателей мониторинга подземных вод для каждого конкретного полигона.

Безусловно, рациональное оценивание негативного воздействия полигона ТКО невозможно без учёта естественных факторов, влияющих на изменения концентраций тех или иных веществ в фоновой скважине. В случае, когда полученные значения концентраций анализируемых веществ в контрольной скважине превышают фоновые значения, стоит проанализировать имеющиеся колебания концентраций этих веществ за последние несколько месяцев в фоновой скважине. В ситуации, когда имеющиеся превышения в значениях концентраций из контрольной скважины также наблюдаются и в фоновых, такие превышения можно объяснить естественным воздействием факторов окружающей среды.

В качестве показателя качества подземных вод, находящихся под воздействием полигона ТКО, предлагается применять модифицированный индекс качества воды LWPI (landfill water pollution index) [40].

Для расчета LWPI используется формула 5:

$$LWPI = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i * S_i)}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad (5)$$

где LWPI — индекс качества подземных вод, подвергающихся воздействию;

$w_i$  — значимость переменной  $i$ -го загрязнителя;

$n_i$  — количество загрязнителей подземных вод.

$S_i$  рассчитывается по формуле 6:

$$S_i = \frac{C_p}{C_b}, \quad (6)$$

где  $C_p$  — концентрация  $i$ -го параметра в каждой пробе притока (загрязнения) подземных вод;

$C_b$  — концентрация  $i$ -го параметра в пробе притока (фона) подземных вод.

$S_i$  для водородного показателя следует рассчитывать исходя из соотношения:

$$\text{если } C_b < C_p, \text{ то } C_p/C_b \quad (7)$$

$$\text{если } C_p < C_b, \text{ то } C_b/C_p \quad (8)$$

Используя сведения, полученные при анализе состава фильтрационных вод, можно определить «вес» каждого загрязнителя при определении параметра

значимости  $w_i$  и присвоить ранг от 1 до 5, исходя из класса опасности вещества. Значения показателя  $w_i$  для некоторых показателей представлены в таблице 27.

Таблица 27 – Значение показателя  $w_i$  для некоторых показателей

Наименование показателя	Значимость загрязнителя, $w_i$
pH	2
Электропроводность	1
Полициклические ароматические углеводороды	5
Общий органический углерод	4
Pb	3
Cu	3
Cr	3
Hg	3
Cd	3

Получившееся значение показателя LWPI можно использовать для характеристики качества грунтовых вод вблизи полигона. При значении показателя меньше или равном единице получаем, что исследуемая вода не подвергается воздействию полигона. Однако, такое значение может указывать и на то, что есть загрязнение выше по течению, то есть в фоновой скважине, или указывать на то, что местоположения скважин выбраны неверно. Когда показатель больше единицы и меньше или равен двум, такую воду следует считать умеренно загрязненной вследствие небольшого воздействия полигона. Значение от двух до пяти включительно интерпретируется как загрязненная вода с выраженным воздействием полигона. Значения выше пяти говорят о том, что вода сильно загрязнена и воздействие полигона крайне высокое.

В России в основном используется индекс загрязнения воды (ИЗВ). Этот индекс вычисляется как отношение полученного значения концентрации вещества к ПДК этого вещества. Из-за того, что нормативов ПДК для грунтовых и дренажных вод полигонов нет, использование этого индекса для оценки их качества неуместно.

Осуществление выбора показателей мониторинга поверхностных вод должно проводиться на основе показателей мониторинга подземных вод. Когда имеются данные о фоновых значениях, можно также применять индекс LWPI. В случае, когда данных о фоновых значениях нет, есть смысл обратить внимание на динамику изменения концентраций загрязняющих веществ в грунтовых водах. Наличие стабильных превышений концентраций может свидетельствовать о факте воздействии полигона ТКО.

Используя предложенные меры, можно провести наиболее непредвзятую и рациональную оценку наличия или отсутствия воздействия полигонов ТКО на грунтовые и поверхностные воды, а также оценить величину данного воздействия.

#### 4.2 Атмосферный воздух

Для проведения более качественного мониторинга атмосферного воздуха на полигонах ТКО требуется обновление списка веществ, подлежащих анализу, с учётом особенностей состава свалочного газа. Рекомендуется обратить внимание на такие показатели, как метан, толуол, аммиак, ксилол, углерода оксид, азота диоксид, формальдегид, этилбензол, ангидрид сернистый и сероводород.

При выборе мест отбора проб атмосферного воздуха нужно обязательно учитывать направления преобладающих ветров. Рационально было бы иметь места отбора проб по четырем румбам. При таком наборе мест отбор проб не будет проблемой при любом направлении ветра.

Также важно измерение фоновых значений для атмосферного воздуха. Это поможет выявить влияние полигона на загрязнение атмосферного воздуха. Отбор проб фоновых значений должен производиться на некотором расстоянии от полигона с наветренной стороны. Такое расположение фоновой точки поможет установить исходные свойства атмосферного воздуха. Точки, на которых отбираются пробы контрольных значений, должны располагаться с



подветренной стороны. Такое расположение качественно изменит картину влияния полигона на загрязнение атмосферного воздуха.

Предлагается заменить использование ПДК на среднегодовые концентрации фоновых значений загрязняющих веществ.

Таким образом при сравнении концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе с подветренной и наветренной стороны можно будет установить воздействие полигона на атмосферный воздух.

#### 4.3 Шумовое воздействие

Определяющим фактором мониторинга шумового воздействия является выбор местоположения точек замеров. Такие замеры рационально осуществлять с подветренной стороны от полигона, ибо распространение звука зависит и от направления ветров.

Не стоит забывать про такие источники шумового воздействия, как автомобильные дороги, промышленные предприятия и т.п., выбор местоположения точек замеров обязательно должен учитывать и эти факторы. Для учёта воздействия шума на животный мир стоит расположить несколько точек замеров не на границе санитарно-защитной зоны, а на границе предприятия.

#### 4.4 Температура свалочных масс

В случае возникновения пожара на полигоне, происходят огромные выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, например, продуктов распада полимерных материалов, которые обладают высокой токсичностью. Такое происшествие, безусловно, несёт за собой крайне негативное воздействие на окружающую среду. К сожалению, возгорания происходит довольно часто. Поэтому мониторинг температурного режима тела полигона должен быть неотъемлемой частью при эксплуатации полигона.

Одним из инструментов, с помощью которого можно проводить мониторинг температуры, является беспилотный летательный аппарат. В случае фиксации зон с повышенной температурой требуется незамедлительное проведение мероприятий, направленных на снижение температуры свалочных масс, например, их увлажнение.

Периодичность проведения такого мониторинга должна быть максимально частой, но не реже 1 раза в сутки.

#### 4.5 Почвы

Мониторинг почвенного покрова можно дополнить оценкой качества почв, для которой используется суммарный показатель загрязненности.

Если объект расположен на территории, для которой нет региональных фоновых значений, то вместо них можно использовать значения фоновой точки мониторинга почв для этого объекта.

## Заключение

Не смотря на то, что за последние десятилетия некоторые страны добились значительного прогресса в вопросах управления отходами и доля твердых коммунальных отходов, отправляющихся на полигоны, неуклонно уменьшается и стремится к нулю, в мире осталось много стран, в основном относящихся к категории развивающихся, где полигоны остаются наиболее распространенным и предпочтительным способом утилизации отходов. К таким странам относится и Россия, в которой около 40 000 км<sup>2</sup> площади территории занято полигонами и не менее 200 км<sup>2</sup> несанкционированными свалками, а ежегодный прирост площади полигонов оценивается в 4 тыс. км<sup>2</sup>.

Воздействие полигонов твёрдых коммунальных отходов на компоненты окружающей природной среды всегда было, есть и будет, однако, надо стремиться к тому, чтобы свести его к минимально возможному значению.

Модернизация системы производственного экологического мониторинга является ключевым аспектом в достижении цели по сведению к минимуму негативного воздействия полигонов твёрдых коммунальных отходов на окружающую среду. Действующий порядок, в соответствии с которым составляется программа производственного экологического мониторинга, носит скорее формальный вид, не отражающий полной картины негативного воздействия полигонов на окружающую среду. Ввиду отсутствия специальных нормативов качества подземных и поверхностных вод полигонов появляются проблемы касательно оценки их качества. Документация, определяющая параметры мониторинга подземных и поверхностных вод и атмосферного воздуха, частично устарела в силу своего возраста и изменяющихся тенденций в компонентном составе образующихся у народонаселения твёрдых коммунальных отходов.

Мониторинг воздействия полигонов ТКО за рубежом и в России имеет отличия в вопросе выбора компонентов окружающей среды, в отношении которых проводится мониторинг, и показателей, на основе которых делаются

выводы о масштабах влияния. Такой выбор компонентов и показателей может определяться для каждого объекта, исходя из его индивидуальных особенностей (например, климатических особенностей или состава размещаемых отходов). Подобный подход к проведению экологического мониторинга объектов размещения отходов позволяет более качественно определить и оценить воздействие на окружающую среду.

В работе был выполнен анализ загрязняющих веществ, содержащихся в подземных и поверхностных водах трёх полигонов твёрдых коммунальных отходов, которые расположены на территории Ленинградской области. По результатам анализа был сделан вывод о том, что наличие единого перечня веществ, подлежащих контролю, не совсем рационально, так как при этом не в полной мере учитываются индивидуальные особенности каждого объекта.

Также на основе проведенного анализа с помощью коэффициента корреляция была выявлена тесная связь между концентрациями загрязняющих веществ в подземных и поверхностных водах в пределах воздействия полигона. Из этого следует, что при мониторинге поверхностных вод рационально использовать перечень загрязняющих веществ, аналогичный перечню веществ для грунтовых вод.

Одним из главных условий для повышения эффективности и качества мониторинга водных объектов, подпадающих под воздействие полигона, является включение мониторинга фильтрата в программу производственного экологического мониторинга. С помощью такого мониторинга можно выделить определённые показатели для мониторинга подземных вод, которые наиболее подвержены влиянию воздействия конкретного полигона.

Введение обязательного постоянного мониторинга температурного режима свалочных масс позволит предотвращать их воспламенение, а значит, и не будет осуществляться выброс загрязняющих и токсичных веществ в атмосферный воздух, который происходит в случае пожара на полигоне.

Внесение изменений в перечень показателей мониторинга должно основываться на сведения о компонентном составе фильтрационных вод и

свалочного газа. Помимо этого корректировка показателей должна учитывать многолетние данные мониторинга для исключения загрязняющих веществ, которые не характерны для конкретного объекта. Сэкономленные денежные средства на таком изменении перечня предоставит возможность их перенаправить на более значимые аспекты мониторинга, такие как тепловой мониторинг свалочных масс и мониторинг фильтрационных вод.

## Список использованной 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> (дата обращения 24.02.2022).
- 4 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
- 5 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> (дата обращения 24.02.2022).
- 6 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> (дата обращения 24.02.2022).

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

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

9 МУ 2.1.7.730–99 Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 1999. – 19 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](https://www.rospotrebnadzor.ru/files/news/SP2.1.3684–21_territorii.pdf) (дата обращения 24.02.2022).

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> (дата обращения 24.02.2022).

12 Ашихмина, Т.В. Геоэкологический анализ состояния окружающей среды и природоохранные рекомендации в районе расположения полигонов ТБО Воронежской области [Рукопись]: дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36 / Ашихмина Татьяна Владимировна. – Воронеж: [б. и.], 2014. – 187 с.

13 Бюллетень Счетной палаты №9 (274) 2020 г.. — Текст : электронный // Счетная палата Российской Федерации : [сайт]. — URL: <https://ach.gov.ru/upload/iblock/462/46234b3e3624fcccb8bace5c892f2f4.pdf> (дата обращения: 13.03.2022).

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

15 Государственный реестр объектов размещения отходов. — Текст : электронный // Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия : [сайт]. — URL: <http://www.fcso.ru/grogo> (дата обращения: 21.01.2022).

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

17 Директива № 1999/31/ЕС Совета Европейского Союза «По полигонам захоронения отходов» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. — URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 01.03.2022)

18 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).

19 Ефимова, Мария Шведский путь отходов / Мария Ефимова. — Текст : электронный // Новая газета : [сайт]. — URL: <https://novayagazeta.ru/articles/2020/09/07/86985-shvedskiy-put-othodov> (дата обращения: 20.02.2022).

20 Жизнь после бака: как сейчас выглядит система утилизации отходов . — Текст : электронный // РБК: Тренды : [сайт]. — URL: <https://trends.rbc.ru/trends/green/cmrm/60ad10399a794783c51ea200> (дата обращения: 20.01.2022).

21 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.

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

23 «Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов» [Электронный ресурс]. — 1996. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006959> (дата обращения 24.02.2022).

24 Как в Японии утилизируют бытовые отходы?. — Текст : электронный // Корпорация ЭКОПОЛИС : [сайт]. — URL: <https://www.ecopoliscorp.com/about/projects/kak-v-yaponii-utiliziruyut-bytovye-otkhody/> (дата обращения: 10.03.2022).

25 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.;

26 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> (дата обращения: 24.02.2022).

27 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](https://www.globalmethane.org/documents/landfill_fs_rus.pdf) (дата обращения: 04.02.2022).

28 «Методика расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и

промышленных отходов» [Электронный ресурс]. – М., 2004 г. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/47/47223/index.htm>

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> (дата обращения: 24.02.2022).]

30 Политика zero waste: насколько эффективно мегаполисы борются с мусором . — Текст : электронный // РБК: Тренды : [сайт]. — URL: <https://trends.rbc.ru/trends/green/61bafb2e9a79477d0ebe6296> (дата обращения: 27.02.2022).

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> (дата обращения: 24.02.2022).

34 Управление по охране окружающей среды США (U.S. EPA), 2011 г. ПРОЕКТ: Глобальные антропогенные выбросы парниковых газов (кроме CO<sub>2</sub>): 1990–2030 (отчет EPA 430-D-11-003), [www.epa.gov/climatechange/economics/international.html](http://www.epa.gov/climatechange/economics/international.html)

35 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> (дата обращения: 24.02.2022).

36 Artiola, J. Environmental Monitoring and Characterization / J. Artiola, I. Pepper, M. Brusseau. — : Academic Press, 2004. — 410 с. — Текст : непосредственный.

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

38 Environmental management of landfill facilities [Electronic resource]. — URL: [https://www.epa.sa.gov.au/files/4771343\\_guide\\_landfill.pdf](https://www.epa.sa.gov.au/files/4771343_guide_landfill.pdf) (date of treatment: 20.01.2022)

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

40 Talalaj I. A. Assessment of groundwater quality near the landfill site using the modified water quality index // Environmental Monitoring and Assessment – 2014. – №186. – P.6 – 7.

41 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> (дата обращения: 07.04.2022).

42 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.

43 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>

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