



**О.В. Виноградов, В.Ю. Глебов, В.А. Дуганов**

**Основы прогнозирования параметров  
опасных зон для населения,  
проживающего вблизи районов  
размещения полигонов  
твердых бытовых отходов**

**Монография**

Москва  
ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)  
2022

УДК 614.8  
ББК 68.9  
О-75

**Виноградов О.В., Глебов В.Ю., Дуганов В.А.**

О-75 Основы прогнозирования параметров опасных зон для населения, проживающего вблизи районов размещения полигонов твердых бытовых отходов: Монография. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2022. 112 с.

ISBN 978-5-93970-255-3

В монографии изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований негативного воздействия полигонов твердых бытовых отходов на население урбанизированных территорий и предложен методический аппарат по прогнозированию параметров опасных зон для населения при развитии аварийных сценариев с пожарами на таких полигонах.

Монография может быть использована в территориальных органах МЧС России, органах управления гражданской обороной и органах управления единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, органов государственной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления.

**УДК 614.8  
ББК 68.9**

ISBN 978-5-93970-255-3

© Авторы, 2022  
© МЧС России, 2022  
© ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2022

# Оглавление

<b>Введение</b> .....	12
-----------------------	----

## **ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА**

1.1. Состав отходов производства и потребления как источников опасности .....	14
1.2. Существующие подходы по обращению с твердыми бытовыми отходами на урбанизированных территориях (на примере Московской области) .....	22
1.3. Анализ возможных опасностей, реализующихся при функционировании полигонов твердых бытовых отходов .....	31
1.4. Требования, предъявляемые к мероприятиям по защите населения и территорий в условиях размещения полигонов твердых бытовых отходов на урбанизированных территориях .....	42

## **ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОПАСНЫХ ЗОН ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ**

2.1. Основные факторы, влияющие на формирование опасных зон для населения .....	51
2.2. Оценка параметров опасных зон для населения при пожарах на полигонах твердых бытовых отходов .....	56
2.3. Выводы по главе .....	71

## **ГЛАВА 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ**

3.1. Оценка опасности для населения распространения выбросов продуктов горения твердых бытовых отходов на полигонах .....	72
3.2. Методический аппарат прогнозирования параметров опасных зон для населения при развитии аварийных сценариев с пожарами на полигонах твердых бытовых отходов .....	76

3.3. Применение информационных технологий для решения задач по комплексной оценке безопасности урбанизированных территорий .....	92
3.4. Рекомендации органам управления РСЧС по прогнозированию параметров опасных зон для населения, проживающего вблизи полигонов твердых бытовых отходов, и снижению опасности их функционирования .....	95
3.5. Выводы по главе .....	100
<b>Заключение .....</b>	<b>101</b>
<b>Библиографический список использованных источников .....</b>	<b>102</b>

## Список сокращений

АИСС	автоматизированная информационно-справочная система
АИУС	автоматизированная информационно-управляющая система
АРМ	автоматизированное рабочее место
АХОВ	аварийно химически опасное вещество
БД	база данных
ВИУ	Военно-инженерный университет
ВНИИПО МЧС России	Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России
ГИС	географическая информационная система
ЗВХЗ	зона возможного химического заражения
КВИО	коэффициент возможного ингаляционного отравления
МСЗ	мусоросжигательный завод
ОУ	орган(ы) управления
ОС	окружающая среда
ОБУВ	ориентировочно безопасный уровень воздействия
ОХВ	опасное химическое вещество
ПАУ	полиароматические углеводороды
ПК	персональный компьютер
ПО	программное обеспечение
ПДК	предельно допустимая концентрация
ПП	компьютерный программный продукт
РМ	расчетный модуль
РСЧС	единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций
РФ	Российская Федерация
СНиП	строительные нормы и правила
СанПиН	санитарные правила и нормы
СП	санитарные правила
СУБД	система управления базами данных
ТБО	твердые бытовые отходы
ТПрО	твердые промышленные отходы
ХОО	химически опасный объект
ЦГСЭН	центр государственного санитарно-эпидемиологического надзора
ЧС	чрезвычайная ситуация
СЗЗ	санитарно-защитная зона
LC50	средняя смертельная концентрация, вызывающая смертельный исход у 50% пораженных
LD50	средняя смертельная токсодоза, вызывающая смертельный исход у 50% пораженных
НЬСО	карбоксигемоглобин

## Термины и определения

- Аддитивность** — суммирование. Оно означает, что конечный результат одновременного действия нескольких ядов будет равен сумме эффектов каждого из них.
- Алгоритм** — последовательность четко определенных действий, выполнение которых ведет к решению задачи. Алгоритм, записанный на языке машины, есть программа решения задачи.
- Атмосферный воздух** — жизненно важный компонент окружающей природной среды, представляющий собой естественную смесь газов атмосферы, находящуюся за пределами жилых, производственных и иных помещений.
- Атрибут** — это свойство объекта. Атрибутами пространственного объекта могут быть: его размеры, плотность, расход, дата установки или численность населения.
- База данных** — автоматизированное хранилище оперативно обновляемой информации.
- Вредное (загрязняющее) вещество** — химическое или биологическое вещество либо смесь таких веществ, которые содержатся в атмосферном воздухе и которые в определенных концентрациях оказывают вредное воздействие на здоровье человека и окружающую природную среду.
- Вредное физическое воздействие на атмосферный воздух** — вредное воздействие шума, вибрации, ионизирующего излучения, температурного и других физических факторов, изменяющих температурные, энергетические, волновые, радиационные и другие физические свойства атмосферного воздуха, на здоровье человека и окружающую природную среду.
- Геоинформационная система** — средство создания и обработки многослойной, пространственно ориентированной базы данных и визуализации ее объектов.
- Геоматематическая модель** — системное объединение картографической и математической моделей, при котором образуются цепочки и циклы: цифровая карта — математическая модель — новая карта — новая математическая модель и т. д. (авт.)
- ГИС анализ** — это получение новых данных в результате обработки имеющихся.
- Городская агломерация** — развитая территориальная система городских поселений, объединенных в одно целое устойчивыми производственными, трудовыми, культурно-бытовыми, рекреационными и другими связями; характеризуется высокой плотностью населения, концентрацией производства и обладает определенной территориальной целостностью.
- Загрязнение атмосферного воздуха** — поступление в атмосферный воздух или образование в нем вредных (загрязняющих) веществ в концентрациях,

превышающих установленные государством гигиенические и экологические нормативы качества атмосферного воздуха.

**Загрязняющее вещество (токсичное вещество, опасное вещество, вредное вещество, примесь)** — вещество, способное причинить вред здоровью людей или окружающей среде. К основным загрязняющим веществам обычно относят: совокупность взвешенных частиц, диоксид серы, оксид углерода, углеводороды, диоксид азота, свинец.

**Задача РСЧС** — определяемое нормативными правовыми актами, руководящими нормативными документами и обязательное для выполнения исполнительными органами государственной власти, органами руководства и повседневного управления, подсистемами и звеньями РСЧС задание или ближайшая цель, достижение которой необходимо для предупреждения и ликвидации ЧС.

**Защита населения в чрезвычайных ситуациях** — совокупность взаимосвязанных по времени, ресурсам и месту проведения мероприятий РСЧС, направленных на предотвращение или предельное снижение потерь населения и угрозы его жизни и здоровью от поражающих воздействий источников ЧС.

**Защита территории** — комплекс организационных, экологических, инженерно-технических, природоохранных, специальных и иных мероприятий, направленных на предупреждение возникновения источников ЧС, подготовку к преодолению вызванных ими опасностей и ликвидации их последствий с целью снижения потерь и разрушений на объектах экономики и личного имущества граждан, а также на ограничение ущерба окружающей природной среде при ЧС.

**Зона чрезвычайной ситуации** — территория, на которой сложилась ЧС.

**Интерфейс** — правила взаимодействия операционной системы с пользователем, взаимодействия соседних уровней в сети ЭВМ.

**Интоксикация (отравление)** — патологическое состояние, вызванное общим действием на организм токсичных веществ.

**Информационная технология** — совокупность методов, производственных процессов и программно-технических средств, объединенных в технологическую цепочку, обеспечивающую сбор, хранение, обработку, вывод и распространение информации для снижения трудоемкости процессов использования информационных ресурсов, повышения надежности и оперативность.

**Источник опасности** — это ограниченный в некоторой области пространства процесс или деятельность, которые могут привести к возникновению негативных воздействий на людей, объекты техносферы и природную среду.

**Канцерогенные вещества** (от лат. cancer — рак и греч. genes — рождающий, рожденный) — бластомогенные вещества, канцерогены, карциногены,

химические соединения, способные при воздействии на организм вызывать рак и другие злокачественные опухоли, а также доброкачественные новообразования.

**Летальный исход** (летальность) (от лат. *letalis* — смертельный) — смертельность, в медицинской статистике отношение числа умерших от какой-либо болезни, ранения или пострадавших от несчастного случая к числу болевших этой болезнью (раненых, пострадавших от несчастного случая); выражается в процентах. Летальность исчисляется за определенный период, обычно за год.

**Лимитирующий (определяющий) показатель вредности** — направленность биологического действия вещества: рефлекторное и резорбтивное.

**Локальная информационная сеть** — соединение нескольких компьютеров между собой линиями связи для передачи информации между подразделениями предприятия с целью ее совместной обработки.

**Математико-картографическое моделирование** — построение и анализ математических моделей по данным, снятым с карты (карт); создание новых производных карт на основе математических моделей.

**Моделирование** — метод исследования объектов различной природы на их аналогах (моделях) для определения или уточнения характеристик, существующих или вновь конструируемых объектов. Модель может выступать гносеологическим заместителем оригинала на четырех уровнях: элементов, структур, поведения (или функций), результатов.

**Модель** — это представление реального мира; используется для имитации процессов, прогнозирования результата или анализа проблем.

**Московская агломерация** — целостная сложная многолучевая урбанизированная система, состоящая из территориально слившихся или сближенных городов и других поселков, сформировавшихся вокруг центра системы г. Москвы на радиальных магистральных, транспортных направлениях, подходящих к Москве.

**Мутагенное действие** — физические и химические факторы, вызывающие стойкие наследственные изменения — мутации.

**Опасное вещество** — вещество, которое вследствие своих физических, химических, биологических или токсикологических свойств предопределяет собой опасность для жизни и здоровья людей, сельскохозяйственных животных и растений.

**Опасное химическое вещество** — вещество, прямое или опосредованное воздействие которого на человека может вызвать острые или хронические заболевания людей, или их гибель.

**Оперативная оценка обстановки** — своевременное выявление и идентификация опасности, возможных ее источников; определение вероятности возникновения идентифицированных опасных событий и оценка их последствий для всех предполагаемых вариантов развития ситуации; выбор наиболее

целесообразных вариантов действий, при которых достигаются существенное снижение рисков и смягчение последствий ЧС природного, техногенного и военного характера.

**Отображение обстановки (О.о.)** — предоставление информации о положении, состоянии, действиях своих войск (сил) и противника, др. условий обстановки в наглядном виде, удобном для ее использования в процессе управления войсками (силами) РСЧС и войсками (силами) ГО. О.о. осуществляется на топографических и специальных картах, схемах, планшетах и т.п. с помощью принятых в МЧС России условных знаков. В автоматизированной информационной системе управления РСЧС и ГО О.о. производится на экранах, табло, терминалах, дисплеях.

**Оценка обстановки** — изучение и анализ факторов и условий, влияющих на подготовку и ведение боевых действий. Включает изучение и анализ данных о противнике, своих войсках (силах), районе боевых действий, метеорологических и климатических условий, времени и др.

**Планирование мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций** — разработка целевых программ и планов мероприятий в области защиты населения, объектов экономики и окружающей природной среды от стихийных и экологических бедствий, аварий и катастроф, эпидемий, эпизоотий и эпифитотий, а также от воздействия современных средств поражения.

**Показатель токсичности продуктов горения** — отношение количества материала к единице объема замкнутого пространства, в котором образующиеся при горении материала газообразные продукты вызывают гибель 50% подопытных животных.

**Предельно допустимая концентрация вещества в почве (ПДК<sub>п</sub>)** — максимальное количество данного вещества в миллиграммах на килограмм пахотного слоя сухой почвы, которое гарантирует отсутствие прямого или опосредствованного отрицательного воздействия на здоровье человека, его потомство и санитарные условия жизни населения.

**Предупреждение чрезвычайных ситуаций** — комплекс мероприятий, проводимых заблаговременно и направленных на максимально возможное уменьшение риска возникновения ЧС, а также на сохранение здоровья людей, снижение размеров ущерба окружающей природной среде и материальных потерь в случае их возникновения.

**Режим повседневной деятельности РСЧС** — порядок функционирования РСЧС, ее территориальных, функциональных и отраслевых подсистем при нормальной производственно-промышленной деятельности, радиационной, химической, биологической (бактериологической), сейсмической и гидрометеорологической обстановке, отсутствии эпидемий, эпизоотий, эпифитотий на подведомственной территории.

**Режим повышенной готовности РСЧС** — режим функционирования РСЧС, ее отдельных подсистем или звеньев, вводимый при угрозе возникновения ЧС или получении прогноза о вероятности ее возникновения на определенной части территории России или в отдельной местности.

**Режим функционирования РСЧС** — порядок функционирования РСЧС, предусматривающий деятельность ее органов руководства и повседневного управления, вспомогательных и обслуживающих служб и учреждений, сил и средств с учетом обстановки, связанной с риском возникновения ЧС и ее ликвидацией на территории России. Различают следующие режимы: повседневной деятельности, повышенной готовности и режим чрезвычайной ситуации.

**Режим чрезвычайной ситуации** — порядок функционирования РСЧС, предусматривающий деятельность ее органов управления, вспомогательных и обслуживающих служб, учреждений, сил и средств с учетом обстановки, связанной с риском возникновения ЧС и их ликвидацией на территории России.

**Резорбтивное действие** — возможность развития общетоксических, гонадотоксических, эмбриотоксических, мутагенных, канцерогенных и других эффектов, возникновение которых зависит не только от концентрации вещества в воздухе, но и от длительности ее вдыхания.

**Рефлекторное действие** — реакция со стороны рецепторов верхних дыхательных путей: ощущение запаха, раздражение слизистых оболочек, задержка дыхания и т. п.

**Санитарно-защитная зона (СЗЗ)** — отделяет территорию промышленной площадки от жилой застройки, ландшафтно-рекреационной зоны, зоны отдыха, курорта с обязательным обозначением границ специальными информационными знаками. Является обязательным элементом любого объекта.

**Синергетика** (от греч. *syn* — вместе, *ergon* — работа) — в дословном переводе означает «теория совместного действия». Синергетическая связь в кибернетике и общей теории систем определяется как связь, которая при совместных действиях независимых элементов обеспечивает увеличение общего эффекта до величины большей, чем сумма эффектов от этих же элементов, действующих независимо.

**СУБД** — приложение, обеспечивающее создание, хранение, обновление и поиск информации в базах данных.

**Тератогенное действие** — **тератология** (от греч. *téras*, родительный падеж *tératos* — чудовище, урод, уродство и... логия) — наука, изучающая уродства. **Тератогены** — вещества, действующие на гены, искажающие и убивающие их.

**Урбанизация** (франц. *urbanisation*, от лат. *urbanus* — городской, *urbs* — город) — исторический процесс повышения роли городов в развитии общества,

который охватывает социально-профессиональную, демографическую структуру населения, его образ жизни, культуру, размещение производительных сил, расселение и т. д.

**Участок рекультивации** — территория, на которой проводится комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народнохозяйственной ценности восстанавливаемых территорий, а также на улучшение окружающей среды.

**Химически опасный объект** — объект, на котором хранят, перерабатывают, используют или транспортируют опасные химические вещества, при аварии на котором или при разрушении которого могут произойти гибель или химическое заражение людей, сельскохозяйственных животных и растений, а также химическое заражение окружающей природной среды.

**Экологический риск** — вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера.

# Введение

Развитие научно-технического прогресса в мире к началу XXI века привело к грандиозным изменениям. Улучшились качество жизни людей, условия труда; повысился уровень здравоохранения, образования, сферы обслуживания. Возросли масштабы производства промышленности и сельского хозяйства; современные коммуникации сблизили страны и континенты.

Однако прогресс проявил и обратную сторону, связанную с истощением природных ресурсов, перенаселением, кризисными явлениями в социальной сфере; обусловил появление крайне неблагоприятных тенденций для жизни человечества; привел к значительному увеличению техногенных катастроф и их последствий.

Концентрация предприятий энергетики, промышленности, коммунального хозяйства и автомобильного транспорта в крупных промышленных регионах в сочетании с высокой плотностью населения привела к появлению проблем экологического, санитарно-гигиенического и социального характера. Нарастающие в связи с этим противоречия между воздействием на окружающую среду, устойчивостью населения и территорий к этому воздействию определяют необходимость разработки системы оценки последствий и поиска путей оптимизации техногенного воздействия на окружающую среду.

В современном урбанизированном обществе сделать производство безотходным невозможно, также как невозможно сделать безотходным и потребление. Поэтому сегодня актуальной является проблема, связанная со сбором, переработкой и утилизацией отходов производства и жизнедеятельности человека. Основными объектами размещения отходов в настоящее время, несмотря на развитие технологий переработки отходов, являются полигоны твердых бытовых отходов (ТБО).

Московская область, как наглядный пример высокоурбанизированной территории, испытывает на себе все проблемы, связанные с источниками риска для жизнедеятельности проживающего населения; поэтому комплексная оценка территорий по критерию риска в регионе имеет важное значение. В области определения показателя риска от потенциально опасных объектов существуют определенные подходы;

однако на территории Московской агломерации имеются иные объекты, которые в процессе функционирования также могут оказывать негативное влияние на население и территории. К числу таких объектов, в том числе, относятся и существующие полигоны твердых бытовых отходов.

Актуальность монографии подтверждается тем, что на территории области размещено около 200 полигонов ТБО без учета несанкционированных свалок, на которых на протяжении последних лет наблюдаются пожары, что подтверждается статистическими данными, приведенными в работе.

В монографии проведены теоретические и экспериментальные исследования по негативному воздействию полигонов ТБО на население урбанизированных территорий; предложен методический аппарат с использованием геоматематической модели по прогнозированию параметров опасных зон для населения при развитии аварийных сценариев с пожарами на полигонах твердых бытовых отходов, а также выработаны рекомендации органам управления РСЧС по прогнозированию параметров опасных зон для населения вокруг полигонов твердых бытовых отходов и снижению опасности их функционирования.

В первой главе монографии проведен анализ состава отходов производства и потребления как источников опасности; рассмотрены существующие подходы по обращению с твердыми бытовыми отходами на урбанизированных территориях; выявлены возможные аварийные ситуации, реализующиеся при функционировании полигонов.

Во второй главе описываются экспериментальные исследования процесса формирования токсичных продуктов горения, проведенные на лабораторной базе ВНИИПО МЧС России.

В третьей главе раскрыто содержание разработанного методического аппарата по прогнозированию параметров опасных зон для населения при развитии аварийных сценариев с пожарами на полигонах твердых бытовых отходов; разработана геоматематическая модель, позволяющая моделировать вероятные зоны поражения человека опасными химическими веществами, образующимися при горении твердых бытовых отходов на полигонах. Изложены рекомендации по прогнозированию параметров опасных зон для населения вокруг полигонов ТБО и снижению опасности их функционирования.

# Глава 1.

## Состояние проблемы

### 1.1. Состав отходов производства и потребления как источников опасности

Техногенное загрязнение биосферы до определенного периода сглаживалось природными процессами, происходящими в биосфере. В последние десятилетия масштаб хозяйственной деятельности человека неизмеримо возрос и во многих случаях достиг глобального уровня. Биосфера постепенно деградирует, разрушается: отравляются атмосфера и водоемы, уничтожаются фауна и флора. Проблема значительно усложняется интенсивной урбанизацией. Этот процесс имеет во многом объективный характер, так как способствует повышению производительной деятельности во многих сферах, одновременно решает социальные и культурно-просветительские проблемы общества. Данные ООН [17] по доле населения Земли, проживающего в городах, приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

#### Динамика роста городского населения на планете

Год	1880	1950	1970	1984	2000
Городское население, %	1,7	13,1	17	50	80–85

К 1990 г. в США было урбанизировано 70% населения, в Российской Федерации к 1995 г. — 76%. В 2000 г. в городах проживало 75% населения Латинской Америки, 42% — Африки, 37% — Азии [17].

Интенсивно растут крупные города: в 1959 г. в СССР было только 3 города-миллионера, а в 1984 г. — 22. Москва с населением 9,2 млн чел. занимает лишь 21 место среди крупнейших городов мира [5]. По данным Росстата, на 1 января 2021 г. постоянное население Москвы составило 12,6 млн человек.

Урбанизация непрерывно ухудшает условия жизни в регионах, неизбежно уничтожает в них природную среду. Для крупнейших городов и промышленных центров характерен высокий уровень загрязнения

компонент среды обитания. Атмосферный воздух городов содержит значительное превышение концентрации токсичных примесей по сравнению с воздухом сельской местности (ориентировочно: оксида углерода — в 50 раз, оксидов азота — в 150 раз, летучих углеводородов — в 2000 раз).

В. К. Маршалл отмечает: «В случае реализации одни опасности связаны с высокими температурами, другие — с большими давлениями или значительными концентрациями опасных веществ. Какие-то из опасностей обуславливают единственно смертельный случай, другие способны погубить сотни людей. Время поражающего действия некоторых опасностей составляет доли секунды, но встречаются и опасности, поражающие свои жертвы через год.

Часть опасностей имеет природное происхождение, другая часть порождена деятельностью человека. Еще более запутывает дело то, что опасности могут одновременно принадлежать разным категориям» [57].

Приведенное утверждение ориентирует нас на детальное рассмотрение всех возможных опасностей, связанных с развитием промышленности и технических средств, которое сопровождается не только увеличением выброса загрязняющих веществ, но и вовлечением в производство все большего числа химических элементов.

В настоящее время известно около 7 млн химических веществ и соединений, из которых 60 тыс. находит применение в деятельности человека. На мировом рынке ежегодно появляется 500...1000 новых химических соединений и смесей. В окружающей среде уже накопилось около 50 тыс. видов химических соединений, не разрушаемых деструкторами (отходы пластмасс, пленок, изоляции и т. п.).

Источниками загрязнения являются: объекты техносферы; отходы производства и потребления; отдельные вещества, вносимые в окружающую среду (ОС) для защиты человека и природных экосистем от болезней и других целей.

Высокая степень индустриализации и урбанизации регионов обусловила образование большого количества отходов.

В соответствии с Федеральным законом «Об отходах производства и потребления» [3] отходы подразделяются на отходы производства и потребления. Отходы производства и потребления — это остатки сырья, материалов полуфабрикатов, иных изделий или продуктов, которые образовались в процессе производства или потребления, а также товары (продукция), утратившие свои потребительские свойства.

Исходя из определения, в состав отходов потребления входят: упаковочные материалы, бумага, пищевые отходы, уличные отходы, отходы парков и садов, текстиль, кожа, полимерные материалы, стекло, керамика, металлы и пр.

Опасные отходы — отходы, которые содержат вредные вещества, обладающие опасными свойствами (токсичностью, взрывоопасностью, пожароопасностью, высокой реакционной способностью) или содержащие возбудителей инфекционных болезней, либо которые могут представлять непосредственную или потенциальную опасность для окружающей природной среды и здоровья человека самостоятельно или при вступлении в контакт с другими веществами [3].

Согласно «Федеральному классификационному каталогу отходов» [5] отходы классифицируют по блокам, сформированным по признаку происхождения отходов:

отходы органические природного происхождения (животного и растительного);

отходы минерального происхождения;

отходы химического происхождения;

отходы коммунальные (включая бытовые).

Проанализировав положения, указанные в каталоге [5], можно сделать вывод, что первые три блока можно соотнести к отходам производства.

Четвертый блок — отходы коммунальные (включая бытовые отходы) состоят из: твердых бытовых отходов, отходов из жилищ, отходов потребления на производстве (подобных бытовым), мусора уличного, мусора рыночного, растительных отходов садов и парков, отходов от водоподготовки, обработки сточных вод и использования воды, шламов при обработке сточных вод, медицинских отходов, прочих коммунальных отходов.

Таким образом, отходы потребления, указанные в законе [3], и коммунальные отходы, установленные каталогом отходов [5], — это по своей сути один и тот же вид отходов. Поэтому в данной работе твердыми бытовыми отходами (ТБО) будем называть все то, что появляется непосредственно в результате жизнедеятельности человека и обслуживающих его предприятий, а также различного рода мусор.

Ежегодно в Российской Федерации образуется около 7 млрд тонн всех видов отходов, среди которых на долю ТБО приходится до 70% [33].

Изучение соотношения количества выбрасываемого мусора с количеством проживающих людей из нескольких квартир, различающегося количеством (выборочно), показало, что в сутки на одну семью, состоящую из двух человек, приходится в среднем 250 см<sup>3</sup> мусора; на семью в количестве трех человек — 300 см<sup>3</sup>; из четырех человек — 450 см<sup>3</sup>, а на семью, состоящую из пяти человек, — 600 см<sup>3</sup> мусора. Отмечается, что более 70% этих отходов представлено полиэтиленами (ПЭТ): емкости для жидкости из пластмассы, которые не имеют технологии вторичной переработки [76].

Например, москвичи «произвели» в 2020 г. около 7 млн т твердых бытовых отходов — не менее 600 кг в год на каждого жителя столицы (в США на одного жителя приходится в год 900 кг бытового мусора). Приблизительно 3,5 млн т ТБО производит население г. Санкт-Петербурга. Жители полуторамиллионного г. Екатеринбурга ежегодно выбрасывают около 640–650 тонн мусора, в г. Новосибирске — более 500 тыс. тонн. Все это свозится на свалки или полигоны либо перерабатывается на специальных предприятиях [104].

Состав ТБО четко зависит от времени и места их накопления (табл. 1.2, 1.3) [33].

Таблица 1.2

### Морфологический состав ТБО

Наименование компонента	% массы		
	Россия	Европейские страны	США
Органические вещества			
Бумага, картон	37,0	16,0	42,0
Пищевые отходы	30,0	29,9	12,0
Деревья, листья	2,0	0	-
Текстиль	5,5	2,0	0,6
Шерсть	-	-	2,4
Кожа, резина	0,5	-	-
Полимерные материалы	5,5	5,4	1,6
Кости	1,0	-	-
Уличные отходы	-	-	15,0
Прочее	-	26,1	-
<i>Итого</i>	81,5	79,4	73,6

Неорганические вещества			
Металлы черные	3,3	2,8	4,0
Металлы цветные	0,5	0,4	6,0
Стекло	4,0	9,2	6,0
Камни, керамика	1,0	-	9,0
Зола, шлак	8,7	-	-
Прочее	1,0	6,3	1,4
<i>Итого</i>	18,5	18,7	26,4
<i>Всего</i>	100	98,1	100

Таблица 1.3

### Элементный состав ТБО

Элемент	Количество, % массы	
	Европа	Россия
Углерод	15–37	19,2
Водород	2–5	2,6
Кислород	15–35	15,3
Азот	0,6	0,5
Сера	0,1–0,28	0,2
Хлор	0,17	-
Медь	0,04	-
Свинец	0,06	-
Никель	0,02	-
Цинк	0,06	-
Летучие	37–65	65,9
Влага	28–40	51,7
Зола	11–21	10,5

Сопоставление табличных данных показывает, что состав ТБО в разных странах несколько отличен, но вместе с тем не имеет коренных изменений. В настоящее время выявляется тенденция возрастающей роли бумаги, синтетики и появления отходов из полимерных материалов; наблюдается непрерывное увеличение бумажных и пластиковых упаковочных материалов.

Для несортированных отходов, фракционный состав которых приведен в табл. 1.2, химический состав характеризуется данными табл. 1.4.

**Химический состав твердых бытовых отходов**

Вид отходов	Объем, %	Состав отходов, в %					
		зола	C	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	S	N <sub>2</sub>
Бумага, картон	35,6	2,74	20,7	2,781	19,193	0,0547	0,1368
Пищевые отходы	23,7	2,17	4,13	0,574	2,73	0,0248	0,2772
Дерево	2,5	0,09	1,43	0,178	1,26	0,0033	0,0089
Металл	8,2	10,13	0,5	0,067	0,481	0,0011	0,0056
Текстиль	2,3	0,08	1,1	0,152	0,995	0,0048	0,0523
Кожа, резина, кости	1,5	0,24	1,23	0,17	0,39	0,0062	0,0205
Пластмасса	1,1	0,17	0,9	0,125	0,285	0,0045	0,015
Стекло	8,3	11,21	0,06	0,008	0,041	-	0,0034
Прочее	17,2	2,16	5,61	0,747	4,168	-	0,0825
Итого:	100	28,99	35,66	4,802	29,543	0,1372	0,9022

При изменении фракционного состава данные табл. 1.4 могут быть приближенно пересчитаны — пропорционально массовым долям. Однако химический состав не дает ответа на вопрос об образовании вредных веществ при различных способах утилизации.

Определенную опасность представляет токсичность отходов.

Токсичность отходов определить значительно сложнее, чем воздуха или воды, поскольку отходы действуют на организмы, как правило, опосредствованно — через почву. Основным параметр, определяющий вредность того или иного химического вещества в почве, — предельно допустимая концентрация его (ПДК<sub>п</sub>). При установлении ПДК<sub>п</sub> создаются экстремальные почвенно-климатические условия, способствующие действию вредного вещества; учитывается действие этого вещества на другие живые организмы; учитывается эффект суммарного воздействия. При обосновании ПДК<sub>п</sub> учитывается шесть лимитирующих показателей (признаков) вредности:

- органолептический (изменение запаха, привкуса, пищевой ценности, фитотест растений и т. п.);
- общесанитарный (влияние на самоочищение почвы);
- фито-аккумуляционный (передающееся растениям количество);
- водно-миграционный;
- воздушно-миграционный;
- санитарно-токсикологический.

В табл. 1.5 приведены ПДК<sub>П</sub> некоторых химических веществ в почве. Однако эти величины постоянно корректируются.

Таблица 1.5

**Предельно допустимая концентрация химического вещества в почве**

Вещество	ПДК <sub>П</sub> , мг/кг	Лимитирующий признак
Бензапирен	0,02	Общесанитарный
Ванадий	150	Общесанитарный
Свинец	32	Общесанитарный
Хром шестивалентный	0,6	Общесанитарный
Кобальт	5	Общесанитарный
Кадмий	5	Общесанитарный
Ртуть	2,1	Фитоаккумуляционный
Мышьяк	2	Фитоаккумуляционный
Карбофос	2	Фитоаккумуляционный
Хлорофос	0,3	Фитоаккумуляционный
Метафос	0,008	Фитоаккумуляционный
Бензин	0,1	Воздушно-миграционный

Вредность отходов оценивается не только по величине ПДК<sub>П</sub>, но и по концентрации в них наиболее вредных веществ, а также по растворимости их в воде. Чем больше относительная доля  $C_i$  вредного вещества в отходах и выше растворимость его  $S_p$ , тем при данной ПДК<sub>П</sub> опаснее эти отходы. Для интегральной оценки опасности отходов рассчитываются индексы токсичности  $K_{T_i}$ , составляющих данные отходы веществ:

$$K_{T_i} = \frac{ПДК_{П_i}}{C_i + S_i}, \text{ мг/кг.} \quad (1.1)$$

Чем меньше  $K_{T_i}$ , тем опаснее вещество. Из всех веществ, содержащихся в отходах, выбирают три наиболее токсичных и по ним подсчитывают индекс токсичности  $K_{\Sigma_a}$ , как среднеарифметическое индивидуальных индексов. Его величина определяет класс токсичности и степень опасности отходов (табл. 1.6).

## Степень опасности отходов

$K_{\Sigma a}$ , мг/кг	Класс токсичности	Степень опасности
Менее 2	I	Чрезвычайно опасные
2,1 –16	II	Высокоопасные
16,1 –30	III	Умеренно опасные
Более 30,1	IV	Малоопасные

Если же для данного вредного вещества не установлена величина  $ПДК_{гр}$ , то расчеты ведут по концентрации компонентов, вызывающей летальный исход у 50% теплокровных особей, — по величине  $LD_{50}$ . Величина  $LD_{50}$  определяется на основании специальных опытов — по данным НИИ коммунальной и бытовой гигиены РАН РФ.

Таким образом, можно сделать вывод:

1. В настоящее время отсутствует единая терминология в определении ТБО.

2. Состав ТБО неоднороден: они содержат более 80% органических веществ, которые при различных способах утилизации способны разлагаться и гореть с образованием вредных веществ.

Следовательно, ТБО обладают потенциалом опасности, а при обращении с отходами возможно проявление опасных событий с реализацией в форме пожара и (или) выброса опасных веществ.

Для Московской области, которая в высокой степени урбанизирована, проблема обращения с отходами наиболее значима, так как на территории области размещается основная масса не только «собственных» ТБО, но и ТБО, производимых Москвой.

## **1.2. Существующие подходы по обращению с твердыми бытовыми отходами на урбанизированных территориях (на примере Московской области)**

Город Москва формирует вместе с областью сложный комплекс — Московский столичный регион. Ядро агломерации за счет развития промышленности расширяется и сокращает площади свободных территорий, озелененных и открытых пространств.

Московская область представляет собой индустриальный, густонаселенный регион России со средней плотностью населения 173,89 чел./км<sup>2</sup> (по состоянию на 2021 г.) (почти в 20 раз превосходит аналогичный показатель по Российской Федерации), с площадью 44,3 тыс. м<sup>2</sup>.

Область в высокой степени урбанизирована. По масштабам промышленного производства, транспортного и коммунального хозяйства в Московском регионе сконцентрировано более 10% производительных сил России, а по объему выпуска многих видов химической и нефтехимической продукции, стройматериалов, легкой и ряда других отраслей область занимает первое место в Центральном федеральном округе (ЦФО).

Экономика области характеризуется значительным преобладанием промышленного производства (460 предприятий) над сельским хозяйством (327 предприятий) [76].

Отраслевая структура области представлена на рис. 1.1.

Так как область относится к наиболее экономически развитым регионам страны, то вполне закономерно образование значительного объема различного рода отходов. Распределение по классам опасности отходов, образующихся на крупнейших промышленных и сельскохозяйственных предприятиях области, показано на рис. 1.2.

В составе нетоксичных (инертных) отходов предприятий области наибольший объем занимают строительные, древесные отходы, смет с территории и отходы, приравненные к ТБО. В основном все они в настоящее время размещаются на полигонах ТБО.

Отходы четвертого класса опасности (навоз, куриный помет, осадок сточных вод, лом черных и цветных металлов) передаются на утилизацию специализированным предприятиям.

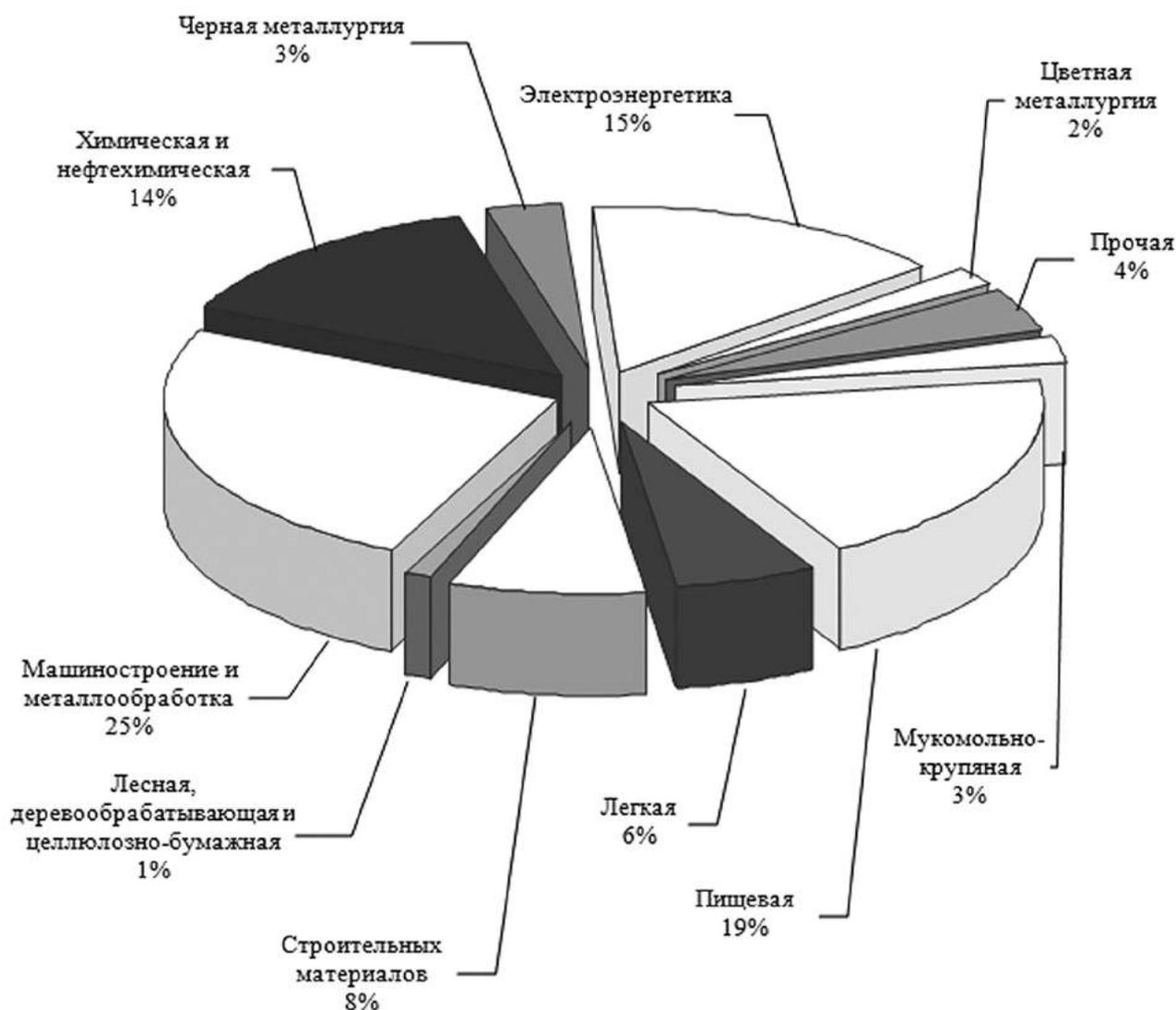


Рис. 1.1. Структура промышленного производства Московской области

Отходы второго и третьего классов опасности образуются в основном от автотранспорта, состоящего на балансе предприятий: масла трансмиссионные и гидравлические, электролит кислотный аккумуляторный, ветошь, промасленная обтирочная, отходы свинца аккумуляторного.

В области образуется ежегодно 28 млн т твердых промышленных отходов (ТПРО) (включая осадки станций аэрации и строительные), около 5 млн т ТБО и 2 млн т сельскохозяйственных отходов. На свалках, полигонах и отвалах предприятий Подмоскovie накоплено около 110 млн т ТБО и ТПРО, 120 млн т иловых осадков от очистных сооружений. При этом ежегодный прирост размещенного объема составляет около 4–5% [76].

Общий объем образования ТБО в области, по оценке специалистов Департамента государственного контроля и перспективного развития

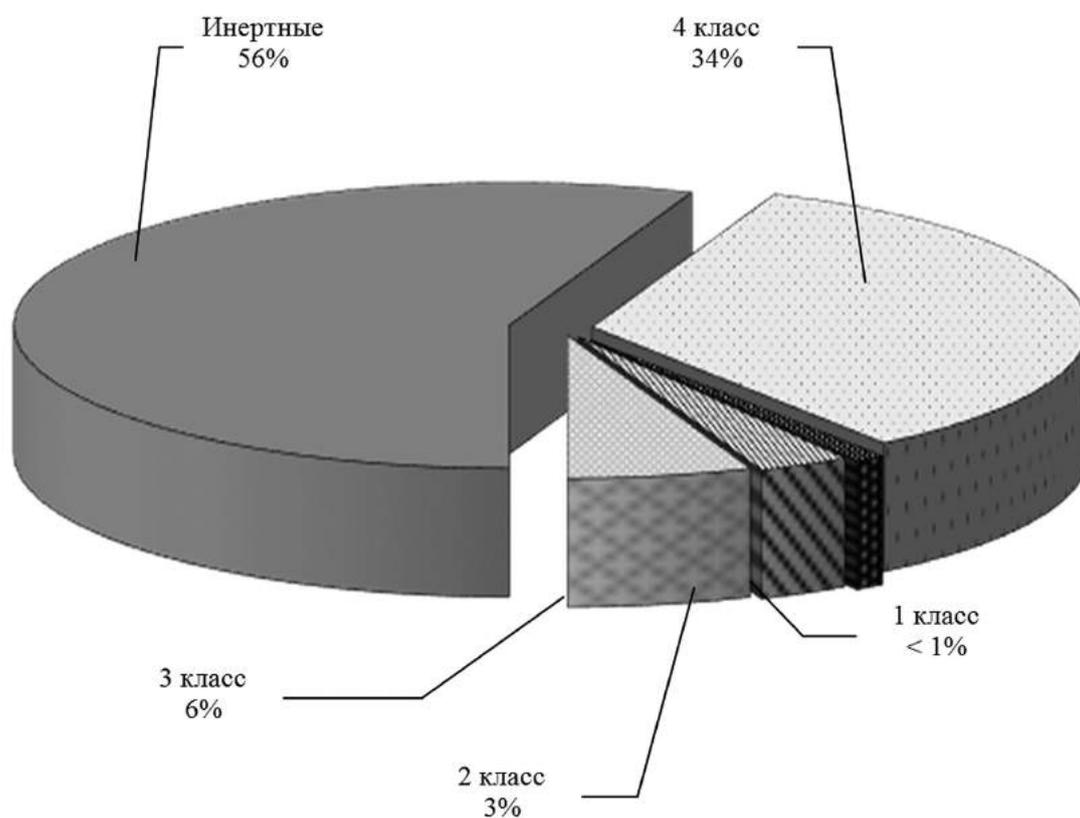


Рис. 1.2. Структура отходов промышленных предприятий области по классам опасности

в области природопользования и охраны окружающей среды МПР России по ЦФО, может достигать как минимум 2,0 млн т, а с учетом предприятий и организаций — 3 млн т. Средний объем образования ТБО для отдельных районов различен и варьируется: от 0,8 м<sup>3</sup> на чел./год — в Волоколамском районе до 1,8 м<sup>3</sup> на чел./год — в Ленинском. В городах среднее значение объема образующихся ТБО на одного человека несколько выше: от 0,9 м<sup>3</sup> — в г. Электростали до 1,2 м<sup>3</sup> — в г. Троицке. Кроме того, отходы, поступающие из других источников (офисы, торговля и др.), по составу практически не отличаются от ТБО, поэтому с их учетом объем образования составляет: от 0,9 м<sup>3</sup> — в Павлово-Посадском районе до 3,0 м<sup>3</sup> — в Домодедовском районе. Среднее значение составляет около 1,6–1,8 м<sup>3</sup> на чел./год [76].

Состав ТБО может существенно варьироваться в зависимости от сезона, дней недели. Основную массу ТБО составляют пищевые отходы и бумага (табл. 1.7).

**Ориентировочный морфологический состав ТБО области [76]**

Компонент	Содержание, % массы	Компонент	Содержание, % массы
Бумага, картон	20–30	Металл цветной	0,5–0,8
Пищевые отходы	33–43	Металл черный	2–3,5
Стекло	5–7	Дерево	1,5–3
Текстиль	3–5	Камни	1–3
Пластмасса	2–5	Прочее	1–2
Кожа, резина	2–4	Отсев (менее 15 мм)	7–13
Кости	0,5–2		

Среди образовавшихся отходов первого класса опасности основную массу составляют отработанные люминесцентные лампы. Они накапливаются на предприятиях в специально оборудованных местах временного хранения с последующим вывозом на демеркуризацию по договорам со специализированными предприятиями.

Характер утилизации отходов в наибольшей степени зависит от класса опасности. Отходы 1–3 классов опасности передаются специализированным предприятиям либо обезвреживаются в собственном производстве. Отходы 4 класса опасности и нетоксичные отходы размещаются на полигонах ТБО, за исключением отходов птицеводства и животноводства, которые передаются сторонним потребителям или накапливаются на территории природопользователя.

В области ежегодно от нейтрализации и обезвреживания сточных вод гальванических цехов промпредприятий образуется от 600 до 800 тыс. т осадков, содержащих тяжелые металлы (хром, медь, цинк, олово, никель, свинец и др.). Такие отходы не принимаются на свалки (полигоны ТБО), накапливаются и нередко бесконтрольно «ликвидируются» на предприятиях. Их удаляют через канализационные сети, размещают на своих территориях и в загородных зонах, смешивают с другими видами отходов для нелегального вывоза на свалки. Тем самым создается постоянная опасность загрязнения территории тяжелыми металлами. Кроме того, отходы химической промышленности, гальваношламы, шламы обработки камня, песчаная масса с примесью глины размещаются на: несанкционированных шламонакопителях и хвостохранилищах площадью 86 га; 2 шлакоотвалах площадью 333 га;

9 котлованах и карьерах, заполненных промотходами (строительные отходы, отходы гальванопроизводства); 4 могильниках площадью 4 га. Общая площадь мест захоронения и размещения этих отходов составляет 1525 га.

В настоящее время организованы переработка и утилизация некондиционированной ртути ООО «Мерком» в г. Лыткарино; работает предприятие по демеркуризации люминесцентных ламп в г. Ногинске, прорабатывается вопрос об организации сбора аккумуляторного лома; в Ногинском районе организована переработка кордовой резины; в Люберецком, Пушкинском и Подольском районах рассматривается вопрос о строительстве мусороперерабатывающих заводов.

В мировой практике используют биотехнологии для переработки ТБО с целью получения удобрений (компостирование), биогаза или биотоплива. Более цивилизованный способ — это строительство и эксплуатация мусоросжигательных заводов (МСЗ). Объем сжигаемого на них мусора на Западе достигает 10–30% от общего объема ТБО.

В г. Москве МСЗ только два, в области — 10, но они перерабатывают не более 3% ТБО. Эти сооружения являются достаточно дорогими, что делает переработку на них отходов экономически не выгодной.

В результате того, что в Московской области пока недостаточно объектов индустриальной переработки и обезвреживания ТБО, основным методом обращения с отходами является размещение ТБО на свалках и полигонах, на которых осуществляется практически 100%-ное их захоронение [76].

По официальной отчетности [76], на полигоны ТБО Подмосковья поступает около 4,3 млн т ТБО в год, в том числе примерно 2,9 млн т из г. Москвы. Кроме этого, более 1 млн т «московских» отходов приходит на территорию области нелегально или полулегально.

Данные Департамента государственного контроля и перспективного развития в области природопользования и охраны окружающей среды МПР России по Центральному ФО по фактическому размещению отходов на официально разрешенных полигонах приведены в табл. 1.8. Наиболее крупными среди полигонов захоронения ТБО области являются полигоны: «Тимохово», «Дмитровский» (Икша), «Саларьево», «Хметьево», «Кучино». На долю этих 5 полигонов приходится более 70% общего количества отходов, принятых лицензированными полигонами области.

Таблица 1.8

**Фактическое размещение отходов на полигонах ТБО  
Московской области за 2001 г. [76]**

Наименование полигона, свалки, район	Принадлежность полигона, свалки	Установленный лимит (тонн)	Фактическое размещение (тонн)	
			Москва	Московская область
«Кучино», Балашихинский	ООО «Заготовитель»	600000	465300	90800
«Домодедово», Домодедовский	МП «Комбинат коммунальных предприятий и благоустройства» (МП ККПиБ)	46000	0,0	52000
«Правобережный», Дубна	МПД ПТО ГХ	15436	0,0	15436
«Левобережный», Дубна	МПД ПТО ГХ	7318	0,0	7318
«Дмитровский», Дмитровский	Предприятие по эксплуатации полигонов (ГУП «Экотехпром»)	750000	547623	51946
«Зарайский», Зарайский, д. Солопово	МУП «Зарайское городское хозяйство» (МУП ЗГХ)	12400	0,0	12400
«Павловское», Истринский	МУП «Истринский полигон ТБО»	0,0	4000	49000
«Каширский», Каширский	МУП «ЖКХ Каширского района»	22000	0,0	21384
«Воловичи», Коломенский	МП «Спецавтохозяйство»	47500	0,0	47384
«Алексинский карьер», Клинский	МУП «Клинский комбинат благоустройства»	67000	0,0	67000
«Ошенево», Лотошинский	МУП «Производственное объединение жилищно-коммунального хозяйства» (МУП ПО ЖКХ)	3681	0,0	Сведения отсутствуют

Наименование полигона, свалки, район	Принадлежность полигона, свалки	Установленный лимит (тонн)	Фактическое размещение (тонн)	
			Москва	Московская область
«Астапово», Луховицкий	МУП «Луховицкое районное коммунально-бытовое хозяйство» (МУП ЛРКБХ)	21000	0,0	21000
«Каргашино», Мытищинский	МУП «Полигон»	74000	0,0	78175
«Тимохово», Ногинский	ОАО «Полигон Тимохово»	1150000	327000	221000
«Электростальский», Ногинский	МУП «Производственно-техническое предприятие городского хозяйства» (МУП ПТП ГХ)	39000	0,0	38300
«Слизнево», Наро-Фоминский	МП «Спецавтохозяйство»	80000	31359	48178
«М. Дубна», Орехово-Зуевский	МУП «Орехово-Зуевское городское предприятие коммунального хозяйства и благоустройства» (МУП ГПКХиБ)	44066	0,0	44066
Полигон ТБО, г. Озеры, Озерский	Муниципальное предприятие «Специализированное производственно-техническое предприятие «Энергия» (МП СПТП «Энергия»)	13500	0,0	12000
«Малинки», Подольский	МУП «Малинки»	96355	670	117500
«Царево», Пушкинский	ОАО «Экопром»	195000	152751	30371
«Сафоново», Раменский	ООО «Озеленение»	80000	29118	50860

Наименование полигона, свалки, район	Принадлежность полигона, свалки	Установленный лимит (тонн)	Фактическое размещение (тонн)	
			Москва	Московская область
«Вальцово», Ступинский	МП ПТО ГХ	34000	0,0	34000
«Хметьево», Солнечногорский	ГУП «Экотехпром»	650000	513400	34400
«Сьяново», Серпуховский	ОАО «Рубеж»	37350	0,0	37082
«Парфеново», Сергиево-Посадский	МП «Спецавтохозяйство и механизация» (МП САХиМ)	42600		Сведения отсутствуют
«Левобережный», Химкинский	МУП «Полигон ТБО»	120000	60000	60000
«Кулаково», Чеховский	МУП «Промышленные экологические технологии» (МУП «Промэкотех»)	52000	0,0	52000
«Шатурский», Шатурский	МП «Шатурское производственно-техническое объединение» (МП ШПТО)	14950	0,0	14950

Из учтенных объемов захоронения ТБО на лицензированных полигонах и свалках 67% приходится на долю отходов г. Москвы и, соответственно, 33% — территории области.

В структуре размещаемых отходов на полигонах в основном преобладают ТБО (рис. 1.3, 1.4).

Сравнение представленных диаграмм показывает, что разночтение показателей ТБО 92 и 80%, по-видимому, вызвано отсутствием единой терминологии в определении ТБО.

Всего в области до недавнего времени насчитывалось 174 санкционированных места размещения отходов, занимающих площадь 1,4 тыс. га, в том числе действует 89 полигонов ТБО, составляющих до 0,03% территории области [76].

Однако число свалок в Подмосковье, включая стихийные, доходит до 700, причем свалки менее 1 га в данном случае не учитываются.

Многие полигоны ТБО расположены в непосредственной близости от населенных пунктов. Последующий анализ показал, что только на

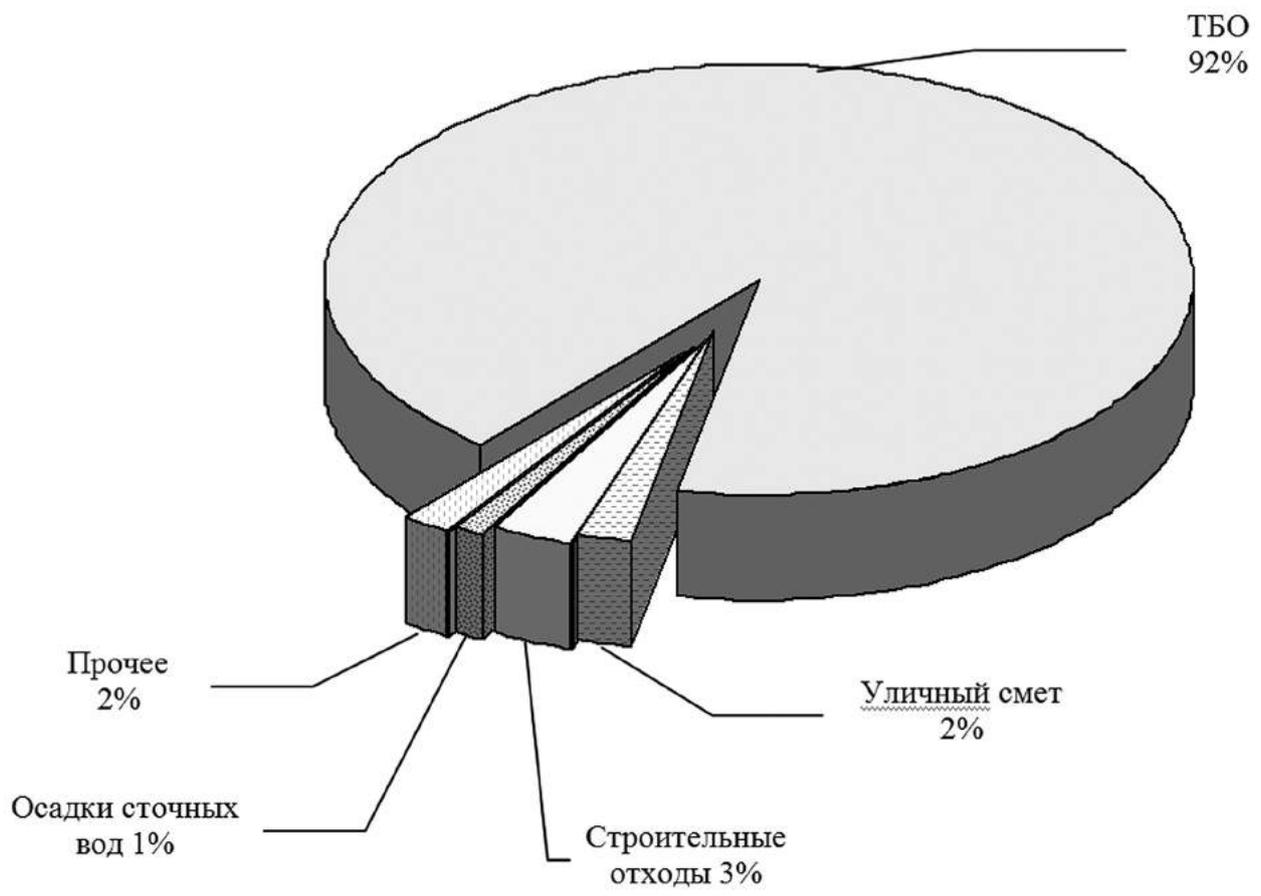


Рис. 1.3. Структура отходов, размещаемых на полигоне «Тимохово»

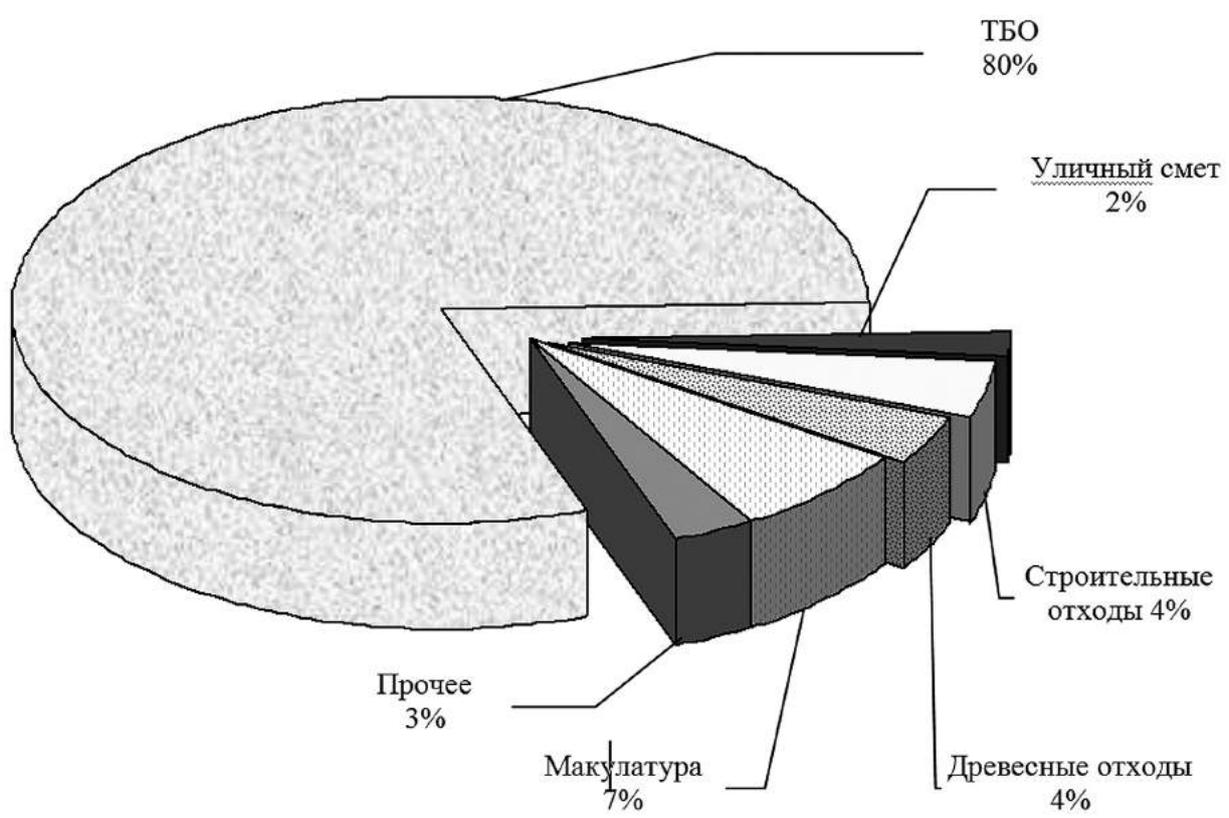


Рис. 1.4. Структура отходов, накапливаемых на полигоне «Парфеново»

расстоянии 1000 м от полигонов проживает до 10000 человек, которые составляют 0,001% населения Московской области.

Учитывая состав и свойства отходов, при функционировании полигонов ТБО возможны различные нештатные ситуации, представляющие опасность для проживающего вблизи населения, территории и окружающей среды.

### **1.3. Анализ возможных опасностей, реализующихся при функционировании полигонов твердых бытовых отходов**

Изучение вопроса функционирования полигонов ТБО [45, 76, 90] в Московском регионе показало, что защите населения и территорий при организации, эксплуатации и рекультивации полигонов ТБО уделяется недостаточное внимание. В большинстве случаев многие старые свалки образовались стихийно в отработанных карьерах, различных выемках, оврагах, без учета существующих нормативных документов [45, 46, 89, 90] на организацию и эксплуатацию полигонов ТБО и без учета природоохранных требований. В ряде случаев не учитывались: геологическое строение, гидрогеологические и ландшафтно-геохимические особенности района; сложившаяся социально-экономическая обстановка и культурно-исторический облик региона.

На многих действующих полигонах и санкционированных свалках отсутствуют необходимая нормативно-техническая документация, специальное оборудование в соответствии с требованиями инструкции [46] (Рошаль, Егорьевск, Ивково, Озеры, Талдом, Вербилки, Запрудня, Анино, Сычевская, Покровская, Полуэктово, Тучково, 88 км, Жегаловская, Орловская, Монинская). Эти полигоны практически исчерпали свои возможности и нуждаются в реконструкции и рекультивации. Подлежат закрытию полигоны: Правобережный (г. Дубна); Домодедово (Домодедовский район); Зарайский (Зарайский район); Павловский (Истринский район); Слизнево и Ивково (Наро-Фоминский район); Курбаново (Серебряно-Прудский район). Закрыты и подлежат рекультивации полигоны и свалки: Щербинка (Домодедовский район); Труд (Люберецкий район); Ново-Сырово (Подольский район); Торбеево (Люберецкий район); Красная Пахра (г. Троицк).

Власти Московской области начали масштабную мусорную реформу и постепенно закрывают полигоны. С 2013 г. в Подмоскowie перестали принимать мусор 24 из 39 полигонов ТБО, их число продолжает сокращаться. В 2020 г. было закрыто семь последних подмосковных полигонов: «Астапово» (Луховицы); «Шатурский» (Шатура); «Сабурово» (Щелковский городской округ); «Ядрово» (Волоколамск); «Малая Дубна» (Орехово-Зуево); «Озеры» (городской округ Озеры) и «Лесная» (Серпухов).

В последние десять лет произошло существенное перераспределение потока отходов в ближнем Подмоскowie. При резком сокращении объема принимаемых отходов на трех крупных полигонах ТБО (Дмитровском, Хметьевском, Кучинском) существенно возрос объем захоронения на мелких и средних полигонах местного подчинения. Сложившееся перераспределение ТБО носит стихийный характер. Оно не подготовлено необходимыми технологическими мероприятиями и мероприятиями защиты населения и территорий. Происходит интенсивное заполнение рабочих карт полигонов. Резкий рост производительности полигонов ТБО не сопровождается оптимизацией технологии эксплуатации и наращиванием технической вооруженности. Не рассчитанные на повышенные нагрузки и не оборудованные специальным образом полигоны становятся все более серьезными загрязнителями поверхностных и грунтовых вод, почвы и атмосферного воздуха. В результате миграции с территории действующих полигонов ТБО (свалок) химических веществ, содержащихся в фильтрате ТБО, вокруг свалок и полигонов образуются аномальные геохимические зоны. Усугубление ситуации происходит за счет неравномерности распределения объектов размещения отходов по территории области. На сегодняшний день неблагоприятная ситуация сложилась в Подольском, Ленинском, Раменском, Ногинском и Мытищинском районах области.

Полигон твердых бытовых отходов является источником поступления в окружающую среду тяжелых металлов, различных токсичных соединений. По мере складирования отходов накапливается суммарное количество потенциально опасных веществ. Миграция загрязняющих веществ продолжается длительное время и после закрытия полигона, так как происходят разложение отходов и вынос с тела полигона веществ-загрязнителей.

Поступление газообразных выделений из тела свалок и полигонов, продолжающееся годами, может привести к накоплению в воздухе

сверхнормативной, опасной для здоровья концентрации летучих веществ. Это касается открытого воздуха, замкнутых пространств, жилых помещений. Известны случаи отравления 19 рабочих гидразином и подобными ему летучими газами во время работы на свалке. Заболевшие жаловались на одышку, головокружение, боли в гортани. У заболевших были обнаружены повышенное содержание в крови лейкоцитов и пониженное содержание кислорода. Население прилегающих к свалкам жилых домов также испытывает «дыхание» свалки. Так, в Бангкоке (Таиланд) около 35% населения, живущего вблизи свалок, страдает кожными и другими заболеваниями. Канцерогенные продукты разложения ТБО могут вызывать лейкемию. Исследованиями, проведенными в США установлено, что у женщин, живущих в пределах 1 мили от свалки, наблюдается 65%-ный рост осложнений при родах по сравнению с общенациональным [25].

В результате разложения ТБО на свалках и полигонах образуется биогаз, содержащий около 5% водяного пара, 1% кислорода, 40% диоксида углерода, 3% водорода, 45% метана и 5–6% других газов. За несколько десятков лет из тонны ТБО может образоваться до 400 м<sup>3</sup> биогаза, причем 70–80% образуется за первые 10–15 лет функционирования свалки. В первые 4–5 лет скорость выделения биогаза составляет 15–20 м<sup>3</sup>/год. Биогаз образуется в три стадии: на аэробной стадии микроорганизмы разлагают органику: целлюлозу, углеводороды, травы и выделяют в основном СО<sub>2</sub>, Н<sub>2</sub>О. Температура в глубинных слоях свалки повышается до 50 °С. На второй стадии, длящейся несколько лет, анаэробные бактерии, которым не нужен кислород, продолжают разлагать органику с выделением СО<sub>2</sub>, спиртов и небольшого количества Н<sub>2</sub>. Метаногенная — третья стадия — длится несколько десятилетий. Основные продукты деятельности метаногенных бактерий — СН<sub>4</sub>, СО<sub>2</sub>. На скорость выделения биогаза влияют биогенные элементы Р и N и температура, которая в глубинных слоях свалки составляет около 40 °С. Распространение метана в воздухе создает взрывоопасную и пожароопасную обстановку на полигонах и является причиной возгораний и пожаров [49, с. 218].

В 1995 г. Центр пожарной статистики Международного технического комитета по предотвращению и тушению пожаров (КТИФ) разработал новую расширенную форму сбора статистических данных о пожарах.

В нее, кроме данных о пожарах в зданиях, на транспорте, лесных и других видах пожаров, впервые включены данные о пожарах мусора [22].

В табл. 1.9 приведено распределение пожаров мусора в 1996 г. в 10 из 45 стран, которые являются членами КТИФ [25].

Таблица 1.9

### Обстановка с пожарами мусора в некоторых странах мира

№ п.п.	Страна	Абсолютное число пожаров мусора	В % от общего числа пожаров в стране
1	США	251000	12,7
2	Великобритания	162800	30,6
3	Италия	23128	12,3
4	Румыния	80	0,9
5	Нидерланды	1412	-
6	Швеция	2360	7,7
7	Грузия	69	1,6
8	Хорватия	198	2,9
9	Литва	1966	14,6
10	Люксембург	110	7,1

В соответствии с новыми требованиями представления статистической отчетности с 1996 г. в Российской Федерации производится учет пожаров мусора.

Большое количество ТБО, образующегося в крупных городах и промышленных центрах, часто является причиной пожаров не только на свалках и специально отведенных местах вблизи домов, но и на санкционированных для этого площадках, на объектах промышленности и строительства.

В настоящее время отмечается возрастание пожароопасности отходов, на что указывает и рост числа пожаров ТБО.

Этот процесс носит объективный характер, так как в составе мусора увеличивается объем горючих упаковочных материалов, которые в основном состоят из бумаги, картона, пластмасс и частично — из металлической фольги. Доля упаковочных материалов в ТБО составляет 30–50% их объема.

В Московской области выезды на тушение пожаров, связанных с загоранием отходов, составляют около 40% общего числа выездов.

В табл. 1.10 приведены данные по числу пожаров ТБО в Московской области. При изучении данного вопроса было установлено, что пожары отходов сопровождались гибелью людей. Так, в 1992 г. погибло 23 человека, в 1993 г. — 8 человек [49].

Таблица 1.10

**Обстановка с пожарами отходов в Московской области на полигонах и санкционированных свалках (по данным службы выездов УГПС Московской области)**

Параметр	2000 г.	2001 г.	2002 г.
Кол-во пожаров отходов, ед.	1036	1643	2032
Средняя площадь горения, м <sup>2</sup>	от 40 до 1000		

Достаточно подробные статистические данные по пожарам ТБО, анализ причин их возникновения в зависимости от времени года и размещения полигонов ТБО на территории Московской области приведены в работе [25].

Приведем несколько примеров:

15 июля 1994 г. — пожар на полигоне ТБО, вблизи г. Химки, привел к загрязнению воздуха в Северном административном округе г. Москвы [25].

Апрель 2000 г. — пожары на полигоне под Звенигородом. Высота слоя мусора на свалке достигла 10 м, площадь — около 4 га. Гарью накрыло часть кварталов г. Звенигорода и близлежащие деревни. Тушение каждого пожара было неэффективным, они возникали вновь. В весенне-летний период возгорания на этой свалке происходят с регулярностью 2–3 раза в неделю [25].

21 июля 2003 г. — зарегистрирован пожар на Химкинском полигоне бытовых отходов, который продолжался несколько дней. По состоянию на 23 июля 2003 г., пожар считался потушенным, однако над полигоном продолжительное время был виден дым (по сообщению информационного агентства (ИА) REGNUM-ВолгаИнформ).

Наиболее крупные возгорания отходов в 2003 году были вблизи Ступино (800 м<sup>2</sup>), Рошаль (400 м<sup>2</sup>). Возгорание свалок, полигонов происходило в районе Домодедово (300 м<sup>2</sup>), Солнечногорска (50 м<sup>2</sup>), Видное (30 м<sup>2</sup>). В 2003 году пожарные Московского региона совершили

120 выездов на ликвидацию возгорания отходов, привлекалось 195 АЦ. Общая площадь пожаров составила 3267 м<sup>2</sup>, пострадало 6 человек, 4 человека погибло.

В результате горения ТБО на полигоне возможно выделение в атмосферу токсичных продуктов горения (табл. 1.11). Виды токсичных газов, выделяющихся при горении различных материалов, приведены в табл. 1.11.

Таблица 1.11

**Виды токсичных газов, выделяющихся при горении различных материалов [14]**

Наименование материалов	Токсические продукты
Органическое волокно, полистирол	Оксиды азота, акрилонитрил, окись углерода
Фторопласт	Фторфосген, фтористый водород
Винилпласт, пластикат	Хлористый водород, окись углерода
Капрон	Синильная кислота (цианистый водород)
Целлулоид	Синильная кислота, окислы азота
Линолеум	Сероводород, сернистый газ
Полиуретан	Цианистый водород, изоцианид, окись и двуокись углерода

Как уже отмечалось, в составе ТБО заметно увеличение изделий из пластмасс (одноразовая посуда, бутылки ПЭТ, упаковка от продуктов питания), которые не имеют специальной маркировки; среди них наиболее часто встречаются смеси термопластичного вторичного сырья, содержащего полиэтилен, полистирол и поливинилхлорид. Они также попадают в бытовой мусор и способны гореть с выделением различных химических загрязнителей, оказывающих негативное воздействие на человека.

Влияние на организм человека основных химических загрязнителей представлено в табл. 1.12.

Исследования, проведенные отечественными и зарубежными учеными, показали, что при сжигании 1 кг бумаги в атмосферу выбрасывается до 100 см<sup>3</sup> окиси углерода, 10–15 см<sup>3</sup> окиси азота, 50 г сажи и других летучих веществ; основная часть которых токсична. Однако наиболее опасные вещества образуются при сжигании полимерных отходов.

### Влияние на организм человека основных химических загрязнителей [33]

Загрязнители	Основные заболевания
Диоксины	Острые и хронические отравления, мутагенный и тератогенный эффект, канцерогенное действие, иммунодефицит
Соединения тяжелых металлов (кадмий, ртуть, свинец)	Острые и хронические отравления, поражение сердечно-сосудистой, мочеполовой и нервной систем
Хлорорганические пестициды (ДДТ, гексахлоран и пр.)	Поражение печени, центральной нервной системы, канцерогенное действие
Бензапирен	Канцерогенное, мутагенное, тератогенное действие
Винилхлорид	Обладает канцерогенным действием
СО в воздухе	Воздействует на психические функции, вызывает удушье
Диоксид серы в воздухе	Вызывает заболевание дыхательных путей, конъюнктивит, головную боль
Пыль, образованная в результате сжигания мусора	Вызывает хроническое раздражение дыхательных органов, приступы бронхиальной астмы, раздражает слизистые оболочки, обладает канцерогенным действием

В зависимости от структуры полимеров при сжигании 1 кг полимерных отходов образуется: от 100 до 500 см<sup>3</sup> хлорорганических и углеродных летучих соединений, до 30 мг диоксинов, которые являются высокотоксичными и стойкими веществами, имеющими кумулятивный характер.

Содержание основных газов в продуктах горения ТБО находится в следующих пределах: диоксида углерода — 4–10%; кислорода — 9–16%; азота — 79–82%; паров воды — 6–28%.

Элементный состав, приведенный в табл. 1.3 (п. 1.1), указывает на то, что в продуктах горения могут находиться: оксиды азота, углерода, серы; аэрозоли металлов, хлористый водород, различные углеводороды; альдегиды, кислоты и др. Продукты неполного сгорания составляют незначительную часть общего объема образующихся газов. В табл. 1.13 приведен состав выбросов продуктов горения ТБО в мусоросжигательных установках (МСУ).

## Состав выбросов продуктов горения ТБО [49]

Компонент	Концентрация, мг/м <sup>3</sup>
Аэрозоль	4100
Диоксид углерода	280000–2500
Оксид углерода	550
Пары воды	50000
Диоксид серы	150
Оксид азота	750
Аммиак	29
Хлористый водород	2100
Фтористый водород	1,6
Органические кислоты (по уксусной кислоте)	1200
Альдегиды (по уксусному альдегиду)	187
Углеводороды (по этану)	250
Свинец	5,6
Кадмий	0,32
Ртуть	1
Диоксины	$(14-123) \cdot 10^{-6}$
Дибензофураны	$(10-98) \cdot 10^{-6}$
Полихлордифенилы	$(8-26) \cdot 10^{-6}$
Полиароматические углеводороды	$(653-29986) \cdot 10^{-6}$
Хлорфенол	$(479-6591) \cdot 10^{-6}$
Хлорбензол	$(4891-8906) \cdot 10^{-6}$

Сведения о загрязнении воздуха токсичными веществами при пожарах ТБО ограничены. Для устранения этого обстоятельства можно использовать результаты анализа выбросов МСУ. По этим данным можно судить лишь о минимальном количестве отдельных токсикантов, образующихся при пожарах, так как необходимо иметь в виду, что:

выбросы МСУ подвергаются очистке;

в МСУ обеспечиваются условия для образования продуктов полного окисления горючих компонентов ТБО [49].

Таким образом, горение ТБО на полигонах представляет опасность для населения, проживающего вблизи полигонов ТБО. Во-первых, продукты горения содержат особо опасные токсиканты: диоксины, dibензофураны, полиароматические углеводороды (ПАУ), оксиды углерода, серу, тяжелые металлы, хлористый водород и т. д. Во-вторых, концентрация

в воздухе отдельных продуктов горения ТБО возможна выше установленных значений ПДК.

Наряду с пожарами ТБО, на полигонах отмечаются опасные ситуации, связанные с выявлением радиоактивных включений в составе принимаемых отходов на полигоны. Это возможно в следующих случаях:

завоз зараженного грунта для изолирующего слоя или при проведении работ по рекультивации;

завоз отходов, содержащих радионуклиды, непосредственно в мусоровозах для захоронения;

в случае выбора для расположения полигона плохо обследованного участка местности.

Так, на возникшей в 60-х годах Братеевской свалке в Южном административном округе площадью 25 га было найдено 90 очагов радиоактивного загрязнения. В некоторых местах радиоактивный фон превышал принятые нормы в 1000 раз [25].

Подобного рода ситуация сложилась 16 декабря 2003 г. на подмосковном полигоне ТБО, расположенном в Солнечногорском районе, на который приехал мусоровоз, перевозящий отходы. В кузове мусоровоза был обнаружен источник радиационного излучения, уровень мощности экспозиционной дозы гамма-излучения составил 1600 мкр/ч, что превышает естественный фон в 80 раз. Как показала последующая проверка, перед тем, как привезти отходы на полигон, грузовик собирал мусор более чем с 20 объектов (по сообщению ИА REGNUM-ВолгаИнформ).

Подобные случаи, к сожалению, не единичны, при этом границу зоны распространения поражающих факторов необходимо исследовать.

Осмотр нескольких полигонов ТБО, расположенных в пределах Московской области, проводимый в ходе исследования, показал, что данные ситуации могут быть засвидетельствованы только лишь на отдельных полигонах, на которых с целью исключения попадания на полигон источников радиоактивного излучения на пропускном пункте осуществляется радиационный контроль поступающих отходов.

Между тем, обследование полигонов ТБО и изучение нормативных документов [89, 90] показали, что единых требований по оборудованию поста радиационного контроля автотранспорта, доставляющего отходы на территорию полигона ТБО, нет.

Рассматриваемая проблема усложняется тем, что на сегодняшний день нет достаточно четкой терминологии в понятиях «свалка», «полигон ТБО»; встречаются термины — «санкционированная свалка», «усовершенствованная свалка». Тогда как в настоящее время для полигонов ТБО существуют единые требования в соответствии с «Инструкцией по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для ТБО», утвержденной 2 ноября 1996 г. [46]. По-видимому, отсюда следует и несоответствующая подготовка данных мест для размещения ТБО, что в целом негативно сказывается на этой территории и, в конечном счете, на безопасности проживающего населения.

Таким образом, проведенный анализ возможных опасностей на полигонах ТБО показал, что наиболее опасной, с точки зрения последствий для проживающего вблизи населения, является ситуация, обусловленная горением твердых бытовых отходов на полигоне.

Анализ местоположения полигонов позволил сделать вывод, что на удалении 1000 м от полигонов ТБО проживает до 10000 человек, которые составляют 0,001% населения Московской области, что определяет их проживание в определенной зоне риска, и это необходимо учитывать при комплексной оценке рисков на территориях.

В настоящее время определение показателя риска стало важным аспектом принятия решения по регламентированию в области безопасности и защиты людей; поэтому к оценке риска необходимо подходить комплексно, с рассмотрением всех возможных опасностей.

Риск для населения можно выразить двумя категориями:

индивидуальный риск — вероятность того, что человек испытывает определенное воздействие (вплоть до смертельного), вызванное аварией (взрывом, пожаром, токсическим выбросом) или другими причинами, при нахождении в заданной зоне;

социальный риск — состояние между числом людей, подвергаемых воздействию источника опасности (погибших, заболевших, травмированных), и вероятностью такого события (авария, наводнение и др.). Использование этого критерия позволяет учитывать количество людей, которое может быть поражено в результате реализации нежелательного события.

В качестве критериев допустимости рисков используются широко применяемые уровни (см. табл. 1.14).

## Критерии для зонирования территории по степени опасности чрезвычайных ситуаций

Частота реализации опасности, случаев/год	Социальный ущерб			
	Погибло более одного человека, имеются пострадавшие	Погиб один человек, имеются пострадавшие	Погибших нет, имеются пострадавшие	Серьезно пострадавших нет, имеются потери трудоспособности
> 1	Зона неприемлемого риска, необходимы неотложные меры по уменьшению риска			
1-10 <sup>-1</sup>				
10 <sup>-1</sup> -10 <sup>-2</sup>				
10 <sup>-2</sup> -10 <sup>-3</sup>				
10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-4</sup>	Зона жесткого контроля, необходима оценка целесообразности мер по уменьшению риска			
10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-5</sup>				
10 <sup>-5</sup> -10 <sup>-6</sup>	Зона приемлемого риска, нет необходимости в мероприятиях по уменьшению риска			

Если под «объектом безопасности» рассматривается человек, то полученный по приведенной зависимости показатель индивидуального риска соотносится ко всему количеству людей ( $N$ ), находящихся в рассматриваемой области, т. е.:

$$Re_i = \frac{Re}{N}, \quad (1.2)$$

где:  $Re_i$  — индивидуальный риск при  $i$ -й чрезвычайной ситуации;

$Re$  — объект безопасности (количество населения, подвергшегося возможному воздействию опасных факторов, чел.).

Рассмотрев под «объектом безопасности» население Московской области, проживающее вблизи полигонов ТБО ( $Re = 10\ 000$  чел.), при общей численности населения области  $N = 6\ 166\ 000$  чел., из отношения (1.2) получаем значение показателя риска  $1 \times 10^{-3}$ .

В соответствии с критериями для зонирования территории по степени опас-

ности чрезвычайных ситуаций (табл. 1.14) население, проживающее в пределах санитарно-защитной зоны полигонов ТБО, находится в зоне жесткого контроля, в которой необходима оценка целесообразности мер по уменьшению риска.

Для эффективной оценки безопасности этого населения необходимо уточнить уровень риска на рассматриваемой территории, однако методических подходов по зонированию территории вокруг полигонов ТБО по критерию риска в настоящее время нет.

#### **1.4. Требования, предъявляемые к мероприятиям по защите населения и территорий в условиях размещения полигонов твердых бытовых отходов на урбанизированных территориях**

Согласно Федеральному закону «Об отходах производства и потребления» [3] под «объектом размещения отходов» понимается «специально оборудованное сооружение, предназначенное для размещения отходов (полигон, шламохранилище, хвостохранилище, отвал горных пород и другие)».

Как отмечалось в п. 1.2, наиболее распространенными на сегодняшний день в Московской области сооружениями по обезвреживанию удаляемых из населенных пунктов отходов являются полигоны твердых бытовых отходов.

Полигоны — комплексы природоохранных сооружений, предназначенные для складирования, изоляции и обезвреживания ТБО, обеспечивающие защиту от загрязнения атмосферы, почвы, поверхностных и грунтовых вод, препятствующие распространению грызунов, насекомых и болезнетворных микроорганизмов [46].

Основные положения, которые должны соблюдаться при проектировании, эксплуатации и рекультивации полигонов для обеспечения санитарных и экологических требований, изложены в «Инструкции по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов» [46].

Специфичные требования к полигонам:

уплотнение отходов, позволяющее увеличить нагрузку на единицу площади;

последнее укрытие отходов;  
меры по предотвращению проникновения сточных вод полигонов в почву и подземные воды;  
сбор биогаза (при необходимости).

Работы на полигонах полностью механизированы, а после закрытия их производится рекультивация участка.

Важны характер грунтов и расположение грунтовых вод. Лучшими для основания полигона являются глины и тяжелые суглинки. Грунтовые воды должны быть на достаточной глубине (с учетом необходимости складирования отходов на высоту не менее 10 м — из экономических соображений); выходы грунтовых и подземных вод в виде ключей и родников должны отсутствовать. Кроме того, учитываются природные особенности выбранного места: доминирующие ветры, количество осадков, температурный диапазон, глубина промерзания грунта.

Все меры по снижению проникновения внешней влаги на полигон можно обобщить следующим образом:

выбор участка с минимумом поверхностных и грунтовых вод;  
уклон укрытия для стока дождевых вод;  
озеленение законченной засыпки участка (карты);  
влагонепроницаемость покрытия;  
уплотнение отходов для уменьшения выщелачивания (щелочь образуется прежде всего за счет притока внешней воды);  
дренаж для грунтовых и поверхностных вод.

В качестве основных требований к размещению полигонов захоронения ТБО в части защиты и рационального использования территории при планировке и устройстве полигонов ТБО предъявляются следующие требования:

1. Полигоны размещаются за пределами городов и других населенных пунктов. Размер санитарно-защитной зоны (СЗЗ) от жилой застройки до границ полигона установлен 500 м.

Кроме того, размер СЗЗ уточняется при расчете газообразных выбросов в атмосферу. Границы зоны устанавливаются по изолинии 1 ПДК, если она выходит из пределов нормативной зоны. Уменьшение размера зоны до менее 500 м не допускается.

2. Территория полигона по периметру ограничивается кольцевым каналом для дренажа глубоких грунтовых вод и перехвата атмосферных дождевых и талых вод в целях защиты территории от затопления.

Кольцевой канал служит местом отбора проб воды для контроля химического состава и для отвода атмосферных вод в открытые водоемы. Территория полигона обваловывается также по всему внутреннему периметру вынутым при рытье котлована грунтом, преимущественно — глинистого состава. Вал предусматривается высотой 1,5–1,7 м, шириной 3,0–3,5 м для предотвращения стока атмосферных вод с территории полигона в кольцевой канал и на прилегающую территорию.

3. Для обеспечения контроля за глубиной уровня грунтовых вод, физико-химического и бактериологического их состава на территории полигона проектируются скважины, расположенные выше и ниже мест захоронения по направлению потока грунтовых вод по отношению к полигону. Оборудование скважин осуществляется до начала эксплуатации полигона.

4. По гидрологическим условиям лучшими являются участки с глинами или тяжелыми суглинками и грунтовыми водами, расположенными на глубине более 2 м. Исключается использование под полигон болот глубиной более 1 м и участков с выходами грунтовых вод в виде ключей, затопляемых паводковыми водами территорий, районов геологических разломов, а также земельных участков, расположенных ближе 15 км от аэропорта.

Под полигоны отводятся: отработанные карьеры, свободные от ценных пород деревьев; участки в лесных массивах; овраги и другие территории.

5. При отводе участка выдается задание на дальнейшее использование его после закрытия полигона (создание лесопаркового комплекса, устройство открытых складов строительных материалов и т. д.). Капитальное строительство на участках складирования ТБО запрещается из-за выделения ядовитых и взрывоопасных газов в течение длительного периода (не менее 40 лет).

6. По периметру всей территории полигона отходов проектируются ограждения. Ограждения могут быть заменены осушительной траншеей глубиной более 2 м, валом высотой более 3 м.

7. Площадь участка, отводимого под полигон, выбирается, исходя из условия срока его эксплуатации не менее 15–20 лет.

8. Заключение о пригодности выбранного участка под устройство полигона ТБО выдают органы охраны природы и санитарно-эпидемиологического надзора города (района, области).

9. При проектировании полигона составляется «паспорт полигона», отражающий химический состав почвы, грунтовых вод и атмосферного воздуха в районе полигона, а также отходов, подлежащих захоронению на полигоне.

Основными элементами полигона (см. рис. 1.5, на примере полигона ТБО «Вальцово») являются: подъездная дорога; участок складирования ТБО; хозяйственная зона; инженерные сооружения и коммуникации.

Подъездная дорога соединяет существующую транспортную магистраль с участком складирования ТБО. Подъездная дорога рассчитывается на двустороннее движение.

Основное сооружение полигона — участок складирования ТБО. Он занимает основную (до 95%) площадь полигона в зависимости от объема принимаемых ТБО. Участок складирования разбивается на очереди эксплуатации (рабочие карты) с учетом обеспечения приема отходов в течение 3–5 лет. В первую, вторую и, если позволяет площадь участка, в третью очередь складирование отходов ведется на высоту в 2–3 яруса (высота яруса принимается равной 2,0–2,5 м).

Последующая очередь эксплуатации заключается в увеличении насыпи ТБО до проектируемой отметки. Разбивка участка складирования на очереди эксплуатации выполняется с учетом рельефа местности.

На расстоянии 1...2 м от водоотводной канавы размещается ограждение вокруг полигона. По периметру, на полосе шириной 5...8 м, проектируется посадка деревьев; прокладываются инженерные коммуникации (водопровод, канализация); устанавливаются мачты электроосвещения. При отсутствии инженерных сооружений на этой полосе отсыпается кавальеры грунта для использования его на изоляцию ТБО.

Хозяйственная зона проектируется на пересечении подъездной дороги с границей полигона, что обеспечивает возможность эксплуатации зоны на любой стадии заполнения полигона ТБО. В хозяйственной зоне размещаются бытовые и производственные сооружения.

Территория хозяйственной зоны бетонируется или асфальтируется, освещается, должна иметь легкое ограждение и въезд со стороны полигона.

На выезде из полигона оборудуется контрольно-дезинфицирующая зона с устройством железобетонной ванны длиной 8 м, глубиной 0,3 м и шириной 3 м для дезинфекции колес мусоровозов (рис. 1.5, п. 10). Ванна заполняется трехпроцентным раствором лизола с опилками.

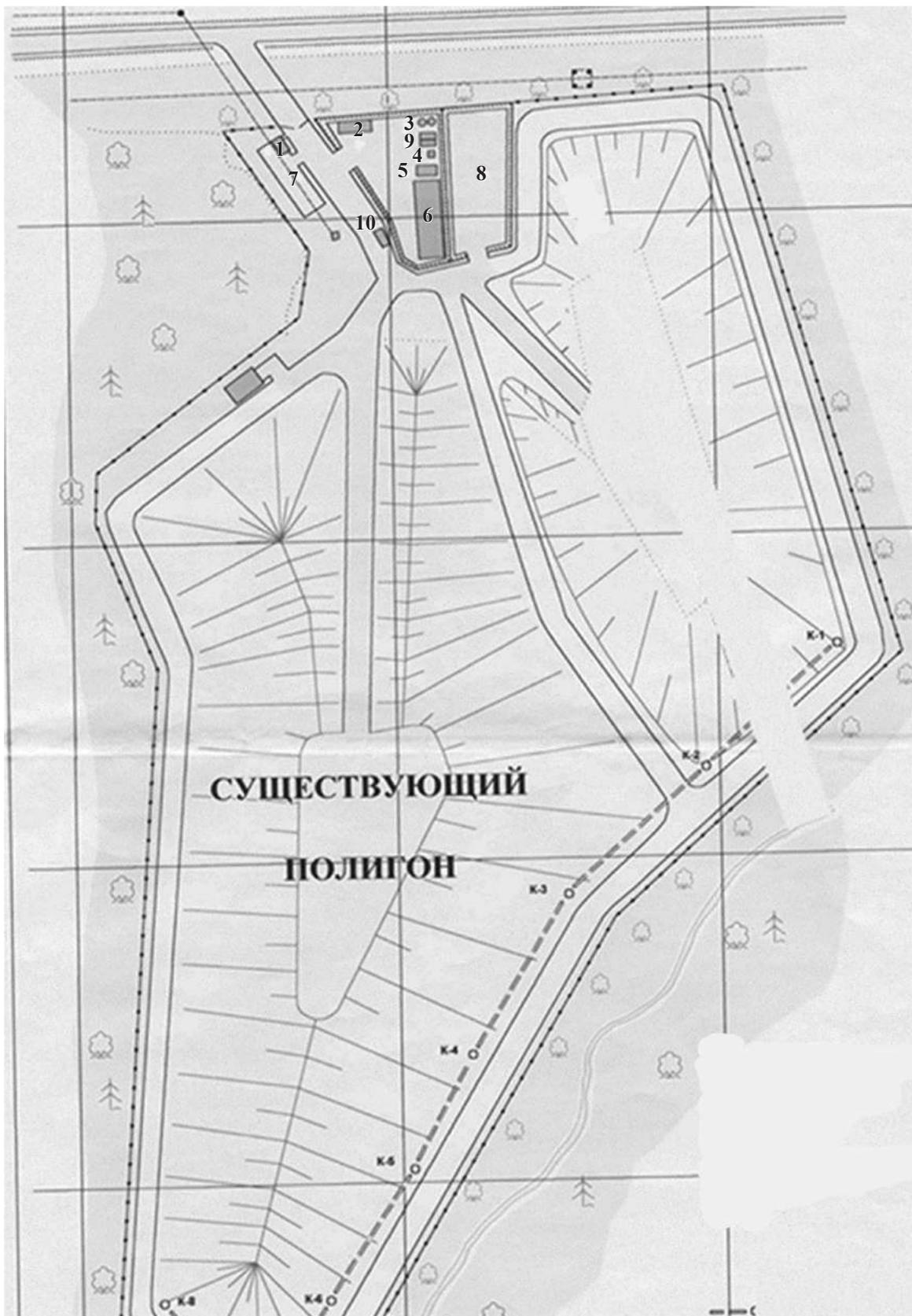


Рис. 1.5. Схема размещения основных сооружений полигона:  
 1 — КПП и диспетчерская; 2 — административно-бытовое здание; 3 — септик для сбора стоков; 4 — туалетная кабина; 5 — склад; 6 — навес; 7 — стоянка;  
 8 — площадка для сортировки отходов; 9 — пожарные резервуары;  
 10 — дезинфицирующая ванна

На территории полигона категорически запрещаются сжигание отходов и сбор утиля.

Для наружного пожаротушения на полигоне оборудуется сборный железобетонный резервуар или пруд емкостью не менее 50 м<sup>3</sup> (рис. 1.5, п. 9) и определяется местными условиями.

В СЗЗ полигона запрещается размещение жилой застройки, скважин и колодцев для питьевых целей. При отсутствии в санитарно-защитной зоне зеленых насаждений или земляных насыпей по периметру полигона устраиваются кавальеры из грунта, необходимого для изоляции при его закрытии.

Для полигона ТБО разрабатывается специальный проект мониторинга, включающий разделы:

контроль состояния подземных и поверхностных водных объектов, атмосферного воздуха, почвы и растений шумового загрязнения в зоне возможного неблагоприятного влияния полигона;

система управления технологическими процессами на полигоне, обеспечивающая предотвращение загрязнения подземных и поверхностных водных объектов, атмосферного воздуха, почвы и растений, шумового загрязнения выше допустимых пределов в случаях обнаружения загрязняющего влияния полигонов.

Проект мониторинга полигона ТБО разрабатывается по техническому заданию владельца полигона и согласовывается с контролирующими органами.

По согласованию с гидрологической службой местными органами Центра государственного санитарно-эпидемиологического надзора (ЦГСЭН) и охраны природы для контроля за состоянием грунтовых вод в зеленой зоне полигона проектируются контрольные шурфы, колодцы или скважины. Одно контрольное сооружение закладывается выше полигона по потоку грунтовых вод (на него отсутствует влияние фильтрата с полигона). Ниже полигона, по течению грунтовых вод на расстоянии 50–100 м, закладываются 1–2 колодца (шурфа, скважины) для отбора проб воды, учитывающих влияние полигона. Конструкция сооружения должна обеспечивать защиту грунтовых вод от попадания в них случайных загрязнений, а также удобства взятия проб воды.

В отобранных пробах определяется содержание аммиака, нитритов, нитратов, гидрокарбонатов кальция, хлоридов, железа, сульфатов, лития, органического углерода, рН, магния, кадмия, хрома, цианидов, свинца, ртути, мышьяка, меди, кадмия, бария и др.

Система мониторинга включает постоянное наблюдение за состоянием воздушной среды. В этих целях ежеквартально производится анализ проб атмосферного воздуха над отработанными участками полигона и на границе СЗЗ на содержание соединений, характеризующих процесс биохимического разложения ТБО и представляющих наибольшую опасность. Обычно при анализе проб атмосферного воздуха определяют: метан, сероводород, аммиак, окись углерода, бензол, трихлорметан, хлорбензол, четыреххлористый углерод.

ПДК основных загрязняющих веществ, выделяющихся в атмосферу на полигонах ТБО и в зоне работы персонала, приведены в табл. 1.15.

Категорически запрещается вывоз на полигоны токсичных, радиоактивных и биологически опасных отходов.

Организацией, эксплуатирующей полигон, разрабатываются регламент и режим работы полигона, инструкции по приему бытовых отходов. Контроль по приему отходов осуществляется лабораторной службой организации, обслуживающей полигон.

Таблица 1.15

**Предельно допустимые концентрации основных загрязняющих веществ, выделяющихся в атмосферу на полигонах ТБО [46]**

Вещество	ПДК мг/м <sup>3</sup>		
	рабочей зоны	максимально разовая	среднесуточная
Пыль нетоксичная	4,0	0,5	0,15
Сероводород	10,0	0,008	-
Окись углерода	20,0	5,0	3,0
Окись азота	5,0	0,4	0,06
Ртуть металлическая	0,01	-	0,0003
Метан	-	-	50,0
Аммиак	5,0	0,2	0,04
Бензол	15,0	1,5	0,1
Трихлорметан	-	-	0,03
Четыреххлористый углерод	20,0	4,0	0,7
Хлорбензол	100,0	0,1	0,1

Лабораторная служба систематически контролирует согласно утвержденному графику фракционный, морфологический и химический состав отходов, поступающих на полигон. С целью исключения несанкционированного складирования отходов, содержащих радионуклиды [46], при поступлении на полигон отходы проходят радиационный дозиметрический контроль.

Таким образом, выполнение всех изложенных требований при проектировании и эксплуатации полигонов ТБО в сочетании с правильной технологией складирования отходов позволит свести до минимума ущерб прилегающей территории и населению, проживающему вблизи полигонов ТБО.

Рассмотрение состояния проблемы функционирования полигонов ТБО показало, что в процессе эксплуатации полигонов ТБО возникают различные опасные ситуации, среди которых наиболее вероятно возникновение пожаров.

В этой связи необходимо обратить внимание на ряд обстоятельств, связанных с существованием полигонов ТБО.

1. Захоронение отходов, сопровождающееся выделением горючего биогаза, обуславливает высокую вероятность возникновения пожаров на полигонах.

2. Существующая сегодня нормативно-техническая документация требует более детальной проработки. Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» [65] выделены следующие СЗЗ: класс I — усовершенствованные свалки ТБО — 1000 м; класс II — полигоны и участки компостирования ТБО — 500 м. Единая терминология в их определении отсутствует.

3. Отсутствуют единые требования к организации радиационного контроля поступающих на полигон отходов.

4. Полигоны размещения ТБО в Московской области решают проблему утилизации отходов, но, в свою очередь, при возникновении на них пожаров отходов могут стать источником опасности, вследствие чего опасные факторы, формирующиеся в результате горения ТБО, будут оказывать негативное влияние на проживающее вблизи них население.

5. Существующие подходы по оценке безопасности территории вокруг полигонов ТБО не позволяют осуществлять зонирование рассматриваемой территории через показатель риска.

Учитывая материалы проведенного анализа, общая цель монографии может быть сформулирована следующим образом: оценка размеров опасных зон для населения вокруг полигонов твердых бытовых отходов.

На основании теоретических и экспериментальных исследований по негативному воздействию полигонов ТБО на население урбанизированных территорий достижение указанной цели предполагается разработкой методического аппарата по прогнозированию параметров опасных зон для населения при развитии аварийных сценариев с пожарами на полигонах твердых бытовых отходов.

## **Глава 2.**

# **Анализ процессов формирования параметров опасных зон для населения**

### **2.1. Основные факторы, влияющие на формирование опасных зон для населения**

Вследствие резкого роста антропогенного массообмена в окружающей среде природа исчерпала ресурсы по сохранению постоянного газового состава мировой атмосферы. В настоящее время достоверно установлено существенное увеличение в атмосфере количества диоксида углерода и ряда других парниковых газов. Изменение климатических условий, по-видимому, способствует росту природных катаклизмов и бедствий, а также кардинально влияет на ландшафт планеты. Наблюдаемое в настоящее время наступление песчаных пустынь на плодородные, пахотные угодья грозит человечеству возникновением глобальных гуманитарных проблем, связанных с переселением значительного количества населения в районы, пригодные для проживания и обеспечения их продовольствием, жильем и средствами к дальнейшему существованию. Определенную негативную роль в увеличении эмиссии парниковых газов играют полигоны и свалки твердых бытовых отходов [1\*].

На территории Российской Федерации ежегодно образуется около 35 млн тонн твердых бытовых отходов (ТБО). Площадь, занимаемая оборудованными полигонами ТБО, составляет около 3 млн га, а несанкционированными свалками, — более 9 млн га [2\*]. Самым распространенным методом утилизации до настоящего времени остается депонирование 90% несортированных отходов на свалках и полигонах. Из-за недостаточного количества специализированных предприятий по переработке, частичной утилизации отходов и полигонов для их размещения и захоронения опасные отходы складываются на промышленных площадках предприятий; часть их попадает на свалки ТБО, которые превращаются в очаги повышенной опасности загрязнения окружающей природной среды, так как на этих площадях концентрируется большой объем токсичных отходов.

Общее количество загрязняющих веществ из всех учтенных стационарных источников выделения составляет 19–20 млн т, из которых 15–16 млн т выбрасывается в атмосферный воздух без очистки. Показатель улова загрязняющих веществ (% объема веществ, исходящих из стационарных источников) составляет в целом по стране 78%. Наибольший валовый выброс загрязняющих веществ в воздушный бассейн из стационарных источников наблюдается в Сибирском и Уральском регионах, на долю которых приходится 54% общего объема выбросов по России.

Полигон твердых бытовых отходов является источником поступления в окружающую среду парниковых газов, органических токсичных соединений и солей тяжелых металлов. В состав твердых бытовых отходов в основном входят: пищевые отходы, полимерные материалы, изделия из бумаги, картона и дерева. В последние годы значительно увеличилось количество изделий из полимерных материалов, которые за счет высокой стойкости существенно загрязняют природную среду. По мере складирования отходов за счет гниения и воздействия климатических факторов (повышенной температуры и осадков) эти отходы, разлагаясь, выделяют значительное количество потенциально опасных веществ. На основании обобщения результатов химико-аналитической оценки различных твердых бытовых отходов, включая строительные материалы, мебель и другие бытовые изделия, в табл. 2.1 приведены данные по выделению ими вредных веществ в воздушную среду [3\*, 4\*].

Миграция загрязняющих веществ продолжается длительное время и после закрытия полигона, так как происходят разложение отходов и вынос с тела полигона веществ-загрязнителей.

При длительном хранении ТБО на полигонах или несанкционированных свалках образуется пять основных видов загрязнений: механическое, тепловое, химическое, бактериологическое и в ряде случаев — радиационное.

По характеру воздействия на людей и окружающую среду выделения характеризуют следующим образом:

парниковые газы: углекислый газ и метан;

токсичные вещества: аммиак, сероводород, угарный газ и окислы азота;

вещества комбинированного действия: диоксин, соли тяжелых металлов, полиароматические и хлорорганические вещества, другие циклические соединения.

Обобщенная схема воздействия полигонов и свалок твердых бытовых отходов на человека и окружающую среду приведена на рис. 2.1.

**Данные по выделению вредных веществ различными  
твердыми бытовыми отходами**

<b>№ п.п.</b>	<b>Наименование материалов</b>	<b>Возможные летучие вредные вещества или аэрозоли</b>
1	Линолеум	Бензол, толуол, кумол, бутилацетат, хлороформ, четыреххлористый углерод, изопропил бензол, триметилбензол
2	Пищевые отходы	Аммиак, сероводород, окислы азота, меркаптаны
3	Древесностружечные плиты и остатки мебели, изготовленной из них	Фенол, формальдегид, орто- и паракрезолы, бутилацетат
4	Бумажные отходы, печатная продукция	Формальдегид, угарный газ, метан, углекислый газ
5	Остатки обоев с полимерным или металлизированным покрытием	Стирол, бутиловый спирт, этилбензол, фталаты, хром, марганец, цинк, медь, свинец
6	Герметизирующие ленты и другие клеящие материалы	Толуол, фталаты, четыреххлористый углерод, хлорфенол, октил
7	Картон и изделия из него	Формальдегид, нафтол, фталаты, этилацетат, октил
8	Изделия из дерева, паркет, половая доска	Формальдегид, толуол, дифенилэтан, хлор-фенол, бутиловый спирт, бутилацетат
9	Битумные мастики, смоляная пакля	Стирол, бензол, фенол, крезолы, толуол, ксилол, этилбензол, хлороформ
10	Изделия из полихлорвиниловых пластиков	Хлорвинил, фталаты, хлористый водород
11	Лакокрасочные покрытия на основе солей свинца (свинцовый сурик)	Свинец, этилбензол, бутилацетат, скипидар, амиловый спирт
12	Изделия из асбестосодержащих материалов	Асбестовые волокна, пыль, кальций, магний, кремний
13	Остатки ковровых изделий	Нафталин, хлорфенол, бутиловый спирт, этилацетат
14	Изделия из пенопласта	Фенол, формальдегид, орто- и паракрезолы, этилбензол



Рис. 2.1. Обобщенная схема воздействия полигонов и свалок твердых бытовых отходов на человека и окружающую среду

В современных условиях для понимания процесса формирования параметров опасных зон для населения, проживающего вблизи размещения полигонов ТБО, назрела необходимость в определении состава и концентрации продуктов при длительном хранении ТБО на полигонах или несанкционированных свалках, а также горении ТБО при пожарах.

Влияние ряда этих веществ на организм человека представлено в табл. 2.2.

Таблица 2.2

**Влияние на организм человека основных химических загрязнителей**

Загрязнители	Основные заболевания
Диоксины	Острые и хронические отравления, мутагенный и тератогенный эффект, канцерогенное действие, иммунодефицит
Соединения тяжелых металлов (кадмий, ртуть, свинец)	Острые и хронические отравления, поражение сердечно-сосудистой, мочеполовой и нервной систем
Хлорорганические пестициды (ДДТ, гексахлоран и пр.)	Поражение печени, центральной нервной системы, канцерогенное действие
Бензапирен	Канцерогенное, мутагенное, тератогенное действие
Винилхлорид	Обладает канцерогенным действием
Угарный газ	Воздействует на психические функции, вызывает удушье
Сероводород	Вызывает заболевание нервной системы, органов дыхания и головную боль
Аэрозоль, образованный в результате сжигания мусора	Вызывает хроническое раздражение органов дыхания, приступы бронхиальной астмы, раздражает слизистые оболочки, обладает канцерогенным действием

В качестве исходных данных для определения опасности воздействия полигонов и свалок твердых бытовых отходов на человека и окружающую среду используются следующие показатели:

- масса поступивших на захоронение твердых бытовых отходов;
- объем возможных выделений в виде газов и жидких веществ;
- класс опасности выделяемых газов и веществ;
- интенсивность выделения газов и веществ.

Для оценки уровня загрязнения воздуха может быть использовано следующее уравнение:

$$C = S V h, \quad (2.1)$$

где:

$C$  — концентрация опасных веществ, г/м<sup>3</sup>;

$S$  — площадь, с которой происходит эмиссия газов, м<sup>2</sup>;

$V$  — скорость эмиссии газов, г/м<sup>2</sup>;

$h$  — высота, до которой определяется уровень загрязнения воздуха, обычно не превышает двух метров.

Для учета совместного влияния токсичных веществ на организм человека или животного суммируют отношение концентрации опасных веществ к величине их токсичности. Таким образом, учитываются токсические эффекты различных опасных веществ.

## **2.2. Оценка параметров опасных зон для населения при пожарах на полигонах твердых бытовых отходов**

Пожары ТБО составляют примерно 4% от общего числа пожаров. Выбросы от пожаров ТБО составляют примерно 0,001% по отношению к выбросам от стационарных источников [5\*]. Однако по своему составу продукты горения способны причинять большой вред здоровью людей, так как содержат более токсичные вещества: диоксины (ТХДД), соединения тяжелых металлов и др. Количественная оценка таких выбросов была выполнена Л. К. Исаевой, которая [47, 48, 49, 53] в дальнейшем, в соавторстве с другими исполнителями [25, 50, 51, 52], определила: состав выбросов при пожарах бытовых отходов; вклад этого вида пожаров в фоновый уровень загрязнения атмосферного воздуха в Москве по числу ПДК отдельных токсикантов, присутствующих в продуктах горения [49].

В разработке концепций обеспечения безопасности людей при пожарах важное значение придается оценке токсичности продуктов горения материалов [98, 93, с. 68–73]. Основоположниками токсикологии в России были: А. П. Нелюбин (1785–1858 гг.), Е. В. Пеликан (1824–1885 гг.).

Отдельные попытки количественной оценки токсического действия продуктов горения различных материалов предпринимались еще в 50-е и 60-е годы. Начиная с 70-х годов исследования в этом направлении заметно активизировались. Были достигнуты определенные успехи

в создании испытательной аппаратуры, обосновании условий испытания материалов и критериев оценки токсичности продуктов горения. Однако ни один из предложенных методов не принят пока в качестве международного стандарта.

Исследования по данной проблеме ведутся в двух направлениях:

биологическая оценка (токсикометрия) продуктов горения, дополняемая, как правило, количественным определением наиболее опасных газов и паров;

оценка по данным химического анализа, ориентированная на расчетное определение ожидаемого токсического эффекта или индекса токсичности, исходя из данных, полученных при инструментальных измерениях, уровней выделения основных газообразных компонентов продуктов горения.

Биологическая оценка базируется на результатах изучения токсического действия продуктов горения при опытах на лабораторных животных. При этих опытах находят, как правило, значение массы образца материала, продукты горения которого вызывают гибель подопытных животных или другой регистрируемый токсический эффект. Преимущество методов биологической оценки заключается в том, что они обеспечивают сравнительно большую точность определения токсичности продуктов горения, зависящую не только от токсичности отдельных компонентов, но и от характера их комбинированного действия на живой организм.

Оценка по данным химического анализа рассматривается в последние годы как альтернатива биологической [98]. Она считается более доступной для исследовательских лабораторий, так как позволяет резко ограничить или полностью исключить использование лабораторных животных, существенно снизить затраты труда и времени. Но обязательное условие ее реализации — наличие базы данных о токсических свойствах продуктов горения, характере связи токсических эффектов с концентрациями газов, временем воздействия и другими факторами [40, с. 4–5].

Обзор работ указанного направления раскрыл разнообразие методических приемов, способов определения токсичности продуктов горения различных материалов без постановки специальных опытов на животных. В частности, для грубой оценки токсической опасности полимерных материалов предлагается определять ее как функцию от убыли массы образцов при горении. Данное предложение аргументируется тем, что

основную опасность из летучих продуктов, образующихся в условиях пожара, представляет оксид углерода, количество которого прямо пропорционально сгоревшей массе материала. Следовательно, степень опасности выделяющегося продукта тесно связывается со значением массы органического вещества в материале.

Из правил Швейцарских кантональных органов противопожарной защиты известно также предложение ориентироваться при оценке токсичности материала в условиях горения на предполагаемое выделение «ядовитых, удушающих и раздражающих газов» [78, с. 79–88]. Возможность выделения газов выясняется при изучении химической природы материала. Распределение материалов по классам токсичности представлено на примере данных, приведенных в табл. 2.3.

Таблица 2.3

**Оценка токсичности газов, образующихся при горении материалов [40, с. 40]**

Газы, выделяющиеся при горении наряду с CO	Степень токсичности продуктов горения	Примеры материалов
Яды: синильная кислота, окислы азота, фосген	1	Целлулоид
Сильные раздражители: сильные кислоты, формальдегид и др.	2	Жесткий поливинилхлорид
Слабые раздражители: слабые кислоты или основания	3	Сухая древесина дуба
Прочие (без ядов и сильных раздражителей)	4	Полиэтилен

Данные по составу материалов, убыли массы при горении образцов имеют определенную значимость для оценки токсической опасности газовой выделения в условиях пожара. Однако они не могут служить критериальными характеристиками, поскольку не учитывают закономерности образования и выделения летучих токсичных веществ, эффект их комбинированного действия, зависящий не только от состава смеси, но и от соотношения действующих концентраций, других аспектов химии и токсикологии продуктов горения.

Многие предложения по аналитической оценке токсичности продуктов горения предусматривают исследование их состава, формирующегося при сжигании (термическом разложении) образцов в лабораторных установках. Полная расшифровка состава трудоемка и для практических целей не всегда оправдана; поэтому при изучении газообразных продуктов горения, как опасного фактора пожара, ограничиваются чаще всего определением ведущих по токсичности компонентов [23, с. 49–52].

Наиболее распространенный способ аналитической оценки токсичности заключается в измерении концентрации газов, образовавшихся в результате сгорания образца материала, и сравнении этой концентрации с известными из литературы уровнями токсичности. Таким путем находят так называемые индексы токсичности  $T_i$  индивидуальных соединений. Для учета эффекта совместного действия газов на организм человека или животного индексы токсичности отдельных газов суммируют:

$$\sum T = \sum \left( \frac{C_t}{C_f} \right), \quad (2.2)$$

где:

$C_t$  — экспериментально установленная концентрация газа;

$C_f$  — концентрация того же газа, летальная или опасная для жизни человека при 30-минутном воздействии.

По мнению авторов работ [69, 96], определение фактора токсичности позволяет выявить вклад отдельных компонентов в общетоксический эффект смеси и способность материалов к выделению токсических веществ в условиях термического разложения и горения. Индекс токсичности отражает действительную опасность токсического воздействия при условии, что выявлены и приняты в расчет все важные компоненты при следующих допущениях:

1. Токсические эффекты отдельных компонентов суммируются, т. е. например, действие пяти токсичных газов в дозах, составляющих 20% от летальной, эквивалентно действию 100%-ной дозы одного из них.

2. Состав дыма, образующегося при испытании материала, до некоторой степени соответствует составу дыма, выделяющегося при реальном пожаре.

Для моделирования токсических эффектов важно знать, какие компоненты продуктов горения их вызывают. Целесообразно также определять для каждого токсиканта зависимость эффективной дозы от концентрации, поскольку известное в токсикологии правило Хабера ( $C_t = \text{const}$ ) может оказаться несправедливым для всего диапазона изучаемых концентраций. Такое определение возможно при наличии базы данных, количественно характеризующих зависимость «концентрация — время — реакция (эффект)».

Прямое применение простых соотношений «концентрация — время» (при фиксированном эффекте) ограничивается тем, что они пригодны только для моделирования воздействия токсиканта в постоянной концентрации, т. е. условий, при которых они были получены в экспериментах. Для пожаров же характерны изменяющиеся (обычно повышающиеся) концентрации. Таким образом, математическая модель, пригодная для прогнозирования действия выделяющихся при пожаре токсикантов, должна учитывать изменяющиеся концентрации и связанные с ними эффективные дозы.

Химические анализы ограничиваются, как правило, определением концентраций газов, представляющих наибольшую опасность в составе продуктов горения. Обязательному анализу подлежат окись углерода, двуокись углерода, кислород, концентрации которых должны измеряться методами непрерывного контроля. В зависимости от химической природы образцов определяют при испытаниях материалов, содержащих азот: синильная кислота (цианистый водород); окислы азота; хлор — соляная кислота; бром — бромистый водород; фтор — плавиковая кислота; сера — сернистый ангидрид. При определении летучих токсичных веществ класса органических соединений измеряются уровни выделения акролеина, формальдегида, бензола, фторорганических соединений и др.

Для большинства перечисленных соединений еще не имеется промышленных образцов автоматических анализаторов. Поэтому для их определения применяют: коллометрические, титрометрические, линейно-коллометрические методы; инфракрасную спектроскопию; газовую хроматографию. В случаях, когда возникает необходимость определить более широкий спектр органических соединений и (или) идентифицировать «супертоксикант», используют газовый хроматограф с высокой разрешающей способностью.

Технология пробоотбора газов довольно сложна, так как ряд соединений: хлороводород, фтороводород, сернистый ангидрид, цианистый водород, оксиды азота, могут поглощаться конденсированными парами воды, адсорбироваться на твердых частицах дыма, вступать в химические реакции с материалами стенок пробоотборных линий.

Токсическое воздействие в условиях пожара следует рассматривать, прежде всего, как экстремальное, как «внезапный химический удар» большой интенсивности [40, с. 59].

Как следствие этого утверждения, сгорание отходов рассматривается как аварийный выброс загрязняющих веществ в атмосферу, что также подтверждается рекомендациями [31].

Анализируя процесс определения токсичности продуктов горения, отмечается, что для объективной оценки важное значение имеет соответствие условий испытаний материалов условиям реальных пожаров. Однако при испытаниях небольших образцов в маломасштабной установке практически невозможно воспроизвести весь комплекс факторов, обуславливающих динамический процесс пожара.

В рекомендациях Технического комитета 92/3 Международной организации по стандартизации (ИСО) указана важная методологическая предпосылка к определению токсичности продуктов горения [98]. Так, например, интоксикация летучими веществами, выделяющимися при горении полимерных материалов, проявляется в основном двумя клиническими симптомокомплексами. Один из них характеризует наркотическое действие газов (угарный газ, синильная кислота) на человека, приводящее к потере сознания и смерти. Другой отражает влияние раздражающих газов и паров (соляная кислота, плавиковая кислота, оксиды азота, альдегиды), которое ограничивает возможности пострадавшего покинуть опасную зону главным образом вследствие поражения глаз и верхних дыхательных путей. В результате повреждения раздражителями легочных тканей летальный исход может регистрироваться в различные сроки после острого воздействия. Параметр  $LC_{50}$  является в количественной токсикологии общепринятым. Однако критерий летальности не может служить как базовый при разработке мероприятий по обеспечению безопасности людей при пожарах. Этой цели больше соответствуют показатели, характеризующие несмертельное воздействие продуктов горения. Такое воздействие может представлять различную степень опасности:

его верхний предел находится на сублетальном уровне, нижний — на допустимом в аварийных условиях.

Показатели, разработанные для оценки опасности несмертельного токсического воздействия, включают концентрационные и временные характеристики, при которых ответ организма проявляется в виде: изменений поведения; снижения физических возможностей покинуть опасную зону; стресс-реакции; симптомов поражения наиболее чувствительных систем. В комплексе показателей, представляющих несмертельный уровень токсического воздействия, особое внимание уделяется потере двигательной способности. По сравнению с летальностью данный эффект свидетельствует об экстремальном характере воздействия продуктов горения на более ранней его стадии: отражает критические для выживания условия. В некоторых случаях он может проявляться задолго до летального исхода, что возможно, например, при наличии в составе продуктов горения нервно-паралитического яда.

Таким образом, современные разработки количественных показателей токсичности продуктов горения позволяют обозначить четыре уровня их воздействия на организм человека: летальный, сублетальный, переносимый и допустимый, которым соответствуют смертельное, тяжелое (с потерей способности самостоятельно покинуть опасную зону), умеренное по тяжести и легкое отравление. При токсикологической оценке продуктов горения целесообразно устанавливать, от каких компонентов в наибольшей степени зависит токсический эффект. Для этого проводят аналитические измерения концентрации газов в затравочной камере, результаты которых сопоставляют затем с эффективными концентрациями тех же газов при изолированном воздействии. Однако во многих случаях такое сопоставление оказывается недостаточным для выявления ведущих компонентов, поэтому применяют другие методы исследований. В первую очередь определяют содержание  $\text{HbCO}$  в крови подопытных животных; для уточнения значимости цианидов в токсичности продуктов горения азотосодержащих материалов проводятся измерения их концентрации не только в зоне дыхания животных, но и в пробах крови и т. д.

Тем не менее, при всем разнообразии методов исследований и критериев оценки токсичности продуктов горения в рутинных маломасштабных испытаниях чаще всего ограничиваются определением интегрального показателя токсичности, уровней выделения наиболее вероятных

токсикантов, содержания  $\text{HbCO}$  в крови подопытных животных [40, с. 67–68].

В выводах комитета пожарной безопасности Национальной академии наук США констатируется неполное соответствие лабораторных методов испытаний цели прогнозирования токсической опасности при пожаре. Токсичность газообразной среды, создаваемой одними горящими материалами, может значительно изменяться в присутствии других материалов. В большинстве случаев токсическая опасность определяется не природой летучих продуктов горения, а скоростью их образования, которая, в свою очередь, зависит от таких характеристик материалов, как: воспламеняемость; интенсивность тепловыделения; скорость распространения пламени [98].

Определение интегрального токсикометрического показателя позволяет представить многокомпонентную смесь летучих веществ, выделяющихся при горении материалов, как единый токсикант, сила действия которого может быть выражена количественно, через эффект отдельного химического соединения с достаточно хорошо изученной токсикологической характеристикой. Из комплекса «пожарных газов» это прежде всего относится к угарному газу (оксиду углерода). Сведения о токсическом эффекте оксида углерода при кратковременном воздействии на человека и лабораторных животных наиболее многочисленны и систематизированы [40, с. 7–34].

При анализе количественных значений зависимости «концентрация — реакция», полученных в исследованиях токсического действия оксида углерода, выделяется четыре диапазона концентраций (табл. 2.4) [40, с. 73].

Концентрации оксида углерода 400 и 1200  $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$  приведены в табл. 2.3 на основании литературных данных, а концентрация 3600  $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$  определена экспериментальным путем [42, с. 3–12]. Она практически равняется средней смертельной концентрации оксида углерода для белых мышей, которые по чувствительности к этому яду стоят ближе к человеку, чем все другие виды лабораторных животных.

Применение шкалы опасности оксида углерода для классификации материалов возможно через посредство условных эталонов. Под ними подразумеваются материалы, токсичность которых при горении определяется оксидом углерода, выделяющимся в различных количествах. Для создания в 1  $\text{м}^3$  концентраций, указанных в табл. 2.4, уровни выделения

**Шкала опасности оксида углерода для человека  
при 60-минутном воздействии**

Диапазон концентраций	Ориентировочные границы концентраций, мг·м <sup>-3</sup>	Ожидаемый токсический эффект
Малоопасные	до 400	НЬСО 10–20 %, снижение работоспособности, головная боль
Умеренно опасные	400–1200	НЬСО 20–40 %, симптомы выраженного отравления, но способность к самостоятельному передвижению не утрачена, вероятность гибели очень мала
Высокоопасные	1200–3600	НЬСО 40–90 %, самостоятельное передвижение невозможно, гибель
Чрезвычайно опасные	>3600	Гибель за более короткое время воздействия

оксида углерода при горении образцов «эталонных» материалов массой 10 г должны соответствовать: для малоопасных — до 40 мг·г<sup>-1</sup>; умеренно опасных — 40–120 мг·г<sup>-1</sup>; высокоопасных — 120–360 мг·г<sup>-1</sup>; чрезвычайно опасных — свыше 360 мг·г<sup>-1</sup>.

Значение массового токсикометрического показателя ( $H_{CL50}$ , г·м<sup>-3</sup>) для таких материалов рассчитывают по формуле:

$$H_{CL50} = \frac{CL_{50}}{q}, \quad (2.3)$$

где:

$CL_{50}$  — средняя смертельная концентрация оксида углерода при фиксированном времени экспозиции белых мышей, мг·м<sup>-3</sup>;

$q$  — уровень выделения СО при сгорании эталонного материала, мг·г<sup>-1</sup>.

Указанные уровни выделения оксида углерода «эталонными» материалами используются для расчета ожидаемых значений  $H_{CL50}$  как при 60-минутной, так и при 30-минутной экспозиции, учитывая, что зона острого действия оксида углерода при этих условиях практически одинакова.  $CL_{50}$  для белых мышей при 60 и 30 мин равны, соответственно, 3600 и 4800 мг·м<sup>-3</sup>, а расчетные параметры  $H_{CL50}$  для эталонных материалов будут следующими: больше 90 и 120 (для малоопасных); 30–90

и 40–120 (для умеренно опасных); 10–30 и 13–40 (для высокоопасных); до 10 и 13 г·м<sup>-3</sup> (для чрезвычайно опасных) [40, с. 74].

Класс опасности каждого испытанного материала находят путем сопоставления экспериментально установленных и расчетных значений показателя  $H_{CL50}$ . Эти характеристики выражены в значениях относительной массы материала (г·м<sup>-3</sup>) и приведены к общему знаменателю — половинному летальному эффекту. Это позволяет использовать расчетные параметры в качестве регламентирующих показателей при классификационной оценке материалов.

В тех случаях, когда значение  $H_{CL50}$  с учетом стандартной ошибки соответствует крайним значениям показателя двух смежных классов, для определения степени опасности материала принимают во внимание: режим испытания; данные о химическом составе продуктов горения; дополнительные сведения об их токсичности. Обнаружение в составе этих продуктов, наряду с оксидом углерода, более токсичных соединений в эффективных концентрациях служит основанием для отнесения материала к более высокому классу опасности, которые на основе принципа эквивалентности токсических эффектов продуктов горения определенному эффекту оксида углерода разделяют на четыре класса.

Таким образом, в результате экстраполяции полученных в ходе проведения эксперимента данных и принятых допущений был уточнен состав возможного удельного выброса вредных веществ, выделяющихся в результате сгорания ТБО (табл. 2.5), дальнейшее использование которых позволит нам определить размеры опасных зон, формирующихся при горении ТБО.

Таблица 2.5

**Возможный удельный выброс вредных веществ  
при сгорании ТБО**

Вредное вещество	Удельный выброс $Q, T_{в-ва} / T_{ТБО}$
Оксид углерода	0,150
Диоксид углерода	0,858
Уксусная кислота	0,00045
Фенол	0,00012
Цианистый водород	0,00093
Окислы азота	0,0069
Сернистый ангидрид	0,0042

Для сравнительной оценки полученных данных с результатами других авторов в табл. 2.6 приведен состав продуктов горения, образующихся при сжигании различных материалов, которые в той или иной мере являются токсичными для животных и человека.

Таблица 2.6

**Летучие вещества, обнаруживаемые в составе продуктов горения различных материалов [54, 85, 87, 106]**

Летучие вещества	Выход летучих веществ мг·г <sup>-1</sup> материала								
	ДСП	Картон	Текстиль	Древесина	Пластик	Бумага	Линолеум	Ковролин	ПВХ
Оксид углерода	180	154	87,5	171	151	191,4	89	105	93,2
Диоксид углерода	686	654,2	634,9	582,6	1560	640,4	838	406	674
Цианистый водород	2	0,12	0,64	-	0,8	0,05	0,6	0,27	1,95
Окислы азота	-	1,8	2,2	-	15,8	0,41	-	0,62	0,3
Фенол	0,1	0,08	0,02	-	0,23	0,2	0,18	0,09	-
Уксусная кислота	0,35	0,78	0,49	0,3	0,54	1,1	0,64	-	1,37
Формальдегид	0,71	0,4	0,19	-	-	0,6	-	0,04	0,03
Акролеин	-	-	-	0,53	0,06	6,44	-	-	-
Хлористый водород	-	-	-	-	-	93,8	-	3,7	139

Таким образом, в результате обработки экспериментальных данных были получены значения массовой доли летучих веществ:

оксида углерода — 150 мг·г<sup>-1</sup>;

диоксида углерода — 858 мг·г<sup>-1</sup>.

Исходя из приведенных выше положений, используя формулу (2.3), был получен показатель токсичности образцов ТБО, который составил  $H_{CL50}$  —  $38 \pm 1,5$  г·м<sup>-3</sup>.

Сравнивая полученное значение  $H_{CL50}$  с классификацией материалов по значению показателя токсичности продуктов горения (табл. 2.7) [40, с. 107], принимаем, что исследованные образцы ТБО относятся к материалам, высокоопасным по токсичности продуктов горения согласно ГОСТ 12.1.044-89 «Пожароопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения» [36, п. 4.20].

Таблица 2.7

**Классификация материалов по значению показателя  
токсичности продуктов горения**

Класс опасности	$H_{CL50}$ , г·м <sup>-3</sup> , при времени экспозиции, мин			
	5	15	30	60
Чрезвычайно опасные	< 25	< 17	< 13	< 10
Высокоопасные	25–70	17–50	13–40	10–30
Умеренно опасные	70–210	50–150	40–120	30–90
Малоопасные	> 210	> 150	> 120	> 90

На основе сравнительной оценки данных выхода опасных веществ из продуктов горения, приведенных в табл. 2.5 и 2.6, была определена концентрация продуктов горения ТБО и различных материалов, входящих в состав ТБО (табл. 2.8).

Таблица 2.8

**Концентрация продуктов горения ТБО и различных  
материалов, входящих в состав ТБО**

Продукты горения	Концентрация продуктов горения, мг/м <sup>3</sup>					
	ДСП	Древесина	Текстиль	Картон	Пластик	ТБО
Оксид углерода	6872,7	6529,0	3340,9	5880,0	5765,5	5727,3
Диоксид углерода	26192,7	22244,7	24241,6	24978,5	59563,6	32760,0
Цианистый водород	76,4	-	24,4	4,6	30,5	35,5
Фенол	3,8	-	0,8	3,1	8,8	4,6
Уксусная кислота	13,4	11,5	18,7	29,8	20,6	17,2
Окислы азота	-	-	84,0	68,7	603,3	262,0

Полученные значения коррелируются с данными, указанными в работах других авторов [237, 238]. Сопоставление данных табл. 2.8 показывает, что концентрация продуктов горения ТБО находится в ряду значений концентрации продуктов горения отдельных материалов, составляющих отходы. Опасность выбросов продуктов горения ТБО в условиях пожаров сравнивалась с ПДК<sub>мр</sub> и ПДК<sub>сс</sub>, указанными в [35] (см. табл. 2.9).

**Сравнительные данные состава продуктов горения  
при сгорании ТБО**

Продукты горения	Концентрация продуктов горения, полученная экспериментально и расчетным способом, мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>мр</sub>	ПДК <sub>сс</sub>	Лимитирующий показатель вредности	Класс опасности
		мг/м <sup>3</sup>			
Оксид углерода	5727,3	5,0	3,0	резорбтивное	4
Диоксид углерода	32760,0	1848	924	резорбтивное	4
Цианистый водород	35,5	-	0,01	резорбтивное	2
Фенол	4,6	0,01	0,003	рефлекторно-резорбтивное	2
Уксусная кислота	17,2	0,2	0,06	рефлекторно-резорбтивное	3
Окислы азота	262,0	0,085	0,04	рефлекторно-резорбтивное	2
Сернистый ангидрид	160,4	0,5	0,05	рефлекторно-резорбтивное	3

Анализ данных табл. 2.9 показывает, что концентрация продуктов горения ТБО на несколько порядков превышает ПДК<sub>сс</sub>, ПДК<sub>мр</sub> этих газов, что свидетельствует об опасности их поступления в приземный слой атмосферы при пожарах. Однако это может объясняться условиями получения экспериментальных данных, но вполне очевидно, что гетерогенный состав ТБО при горении представляет опасность для населения, оказавшегося в зоне воздействия вредных веществ.

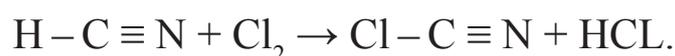
В представленных материалах в основном учитывается токсичность окиси углерода. Однако связывать отравляющее действие продуктов горения только с окисью углерода неправомерно, так как ее концентрация в зоне задымления может быть не очень высокой вследствие того, что значительное количество этого газа уходит в атмосферу над очагом пожара. Токсичность может быть значительной за счет сернистых и хлорсодержащих соединений, которые в проведенных исследованиях не определялись, а получены расчетным способом.

Токсичность может усиливаться и за счет проявления синергетического эффекта. Выделение синильной кислоты вполне закономерно

и ее концентрация в районе горения самого полигона ТБО может быть выше, т.к. образование синильной кислоты возможно при окислительном аммолизе метана (составная часть биогаза):



Синильная кислота за счет присоединения к карбоксильным соединениям образует хлорциан:



Особого внимания заслуживают данные о присутствии в продуктах сгорания диоксинов, бензофуранов и других полиароматических углеводородов (ПАУ).

Наличие ПАУ в выбросах МСУ показывает, что при пожарах мусора также имеет место образование хлорированных ароматических углеводородов (диоксинов и бензофуранов), а также бензапирена и ряда других циклических соединений, имеющих высокую токсичность. Концентрация перечисленных веществ в продуктах горения при пожарах ТБО больше, чем в выбросах МСУ, так как при пожаре происходит более интенсивное сажеобразование, а участие твердых частиц в образовании диоксинов и бензофуранов считается доказанным [32]. Образование диоксинов и бензофуранов начинается в диапазоне 250–500 °С и достигает максимума в интервале 450–600 °С. В условиях пожара ТБО такие температурные зоны реализуются на стадии разложения мусора и в некоторой части факела пламени. Таким образом, горение ТБО в условиях пожара значительно опаснее, чем в МСУ. Если выбросы МСУ, подвергающиеся эффективной очистке отходящих газов, влияют на здоровье людей, то пожары ТБО, безусловно, оказывают еще более негативный эффект. Отметим, что степень влияния выбросов диоксинов на население, проживающее вблизи МСУ, составляет, по оценкам специалистов, 1% от расчетного фонового суточного поглощения этих веществ [32]. Учитывая высокую устойчивость диоксинов к разложению, их поступление в ОС при горении ТБО представляет угрозу для здоровья населения [25].

Для определения вероятности поражения людей при токсическом воздействии могут быть использованы значения пробит-функции, которые определяются по формуле 2.4:

$$Pr = a + b \ln (C_{ppm}^n \tau), \quad (2.4)$$

где:

$a, b, n$  — константы для каждого конкретного аварийно химически опасного вещества;

$\tau$  — время воздействия, мин;

$C_{ppm}$  — концентрация вещества в конкретной точке зоны заражения, ppm, связанная с концентрацией вещества в мг/л соотношением:

$$C_{ppm} = 62360 \times C_{\text{мг/л}} \times \frac{(273,15 + t)}{M \times P}.$$

Здесь:

$t$  — температура воздуха, °С;

$M$  — молекулярная масса вещества, кг/кмоль;

$P$  — давление воздуха, мм рт. ст.

Параметры пробит-функции для случая смертельного токсического поражения представлены в табл. 2.10.

Таблица 2.10

**Параметры пробит-функции для случая смертельного токсического поражения**

Вещество	$a$	$b$	$n$
Аммиак	-30,90	1,85	2
Фенол	-104,78	5,3	2
Угарный газ	-32,98	3,7	1
Хлор	-3,29	0,92	2
Формальдегид	-7,24	1,3	2
Соляная кислота	-16,85	2,0	1
Цианистоводородная кислота	-24,42	3,008	1,43
Фтористоводородная кислота	-30,87	3,354	1
Сероводород	-26,42	3,008	1,43
Метилизоцианат	-0,642	1,637	0,653
Окислы азота	-8,79	1,4	2
Фосген	-14,27	3,686	2
Двуокись серы	-10,67	2,1	1

Таким образом, можно с определенной долей уверенности предположить, что в процессе пожара на полигоне твердых бытовых отходов может образоваться зараженное облако размером несколько тысяч кубических метров, содержащее токсические продукты горения в концентрациях, приведенных в табл. 2,9, которые на несколько порядков превышают величину предельно допустимой концентрации. Это облако, проникая в населенные пункты, может вызвать массовое поражение людей.

### 2.3. Выводы по главе

Полигоны твердых бытовых отходов увеличивают содержание в атмосфере диоксида углерода и ряда других парниковых газов и при длительной эксплуатации существенно загрязняют окружающую среду. Особую опасность представляют пожары на полигонах твердых бытовых отходов.

Представленный в настоящей главе показатель токсичности образцов ТБО составил  $H_{CL50} — 38 \pm 1,5 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$ ; и последующие материалы по оценке опасных выбросов продуктов горения ТБО свидетельствуют о том, что в результате горения ТБО выделяется значительное количество вредных летучих веществ, которые способны оказать негативное воздействие на людей.

Приведенные материалы позволяют определить возможное количество поступления в атмосферу различных вредных веществ, образующихся в результате горения ТБО, которые в дальнейшем будут использованы в качестве исходных данных для математического моделирования опасных зон распространения продуктов горения в окружающую среду.

#### **Дополнительный список использованных источников**

(в главе приведены со звездочками)

1. Природные опасности России: природные опасности и общество / Под общ. ред. В. И. Осипова, С. К. Шойгу. М.: Крук, 2002. 494 с.
2. Цаликов Р. Х., Акимов В. А., Козлов К. А. Оценка природной, техногенной и экологической безопасности России / МЧС России. М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2009. 464 стр.
3. Аналитические материалы по программе «Безопасность Москвы». М., 2005. 246 с.
4. Результаты оценки качества жизни в городских условиях. М.: ВНИИТЭ, 2010. 118 с.
5. Пожары и пожарная безопасность в 2009 году: Статистический сборник / Под общ. ред. Н. П. Копылова. М.: ВНИИПО, 2010. 135 с.

# **Глава 3.**

## **Моделирование процесса распространения продуктов горения твердых бытовых отходов в приземном слое атмосферы**

### **3.1. Оценка опасности для населения распространения выбросов продуктов горения твердых бытовых отходов на полигонах**

Проведенные исследования подтвердили тот факт, что при пожарах ТБО на полигонах и свалках происходит выделение следующих загрязняющих веществ: окислы азота, окись углерода, сернистый ангидрид и цианистый водород. Все они входят в перечень сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ).

Под «СДЯВ» понимаются опасные химические вещества (газообразные, жидкие и твердые), применяемые в народнохозяйственных целях, попадание которых в атмосферу, грунт или воду при технологических авариях и катастрофах, а также стихийных бедствиях может вызвать массовую гибель людей, сельскохозяйственных животных или растений либо заражение окружающей среды в опасных концентрациях.

В настоящее время СДЯВ принято трактовать как аварийно химически опасное вещество (АХОВ) — опасное химическое вещество (ОХВ), применяемое в промышленности и сельском хозяйстве, при аварийном выбросе (выливе) которого может произойти заражение окружающей среды с поражающими живой организм концентрациями (токсодозами).

Опасное химическое вещество — химическое вещество, прямое или опосредованное действие которого на человека может вызвать острые и хронические заболевания людей или их гибель.

Окись углерода, цианистый водород относятся к веществам преимущественно общеядовитого действия, способным вызывать острое

нарушение энергетического обмена, что может стать причиной гибели пораженного.

Окислы азота и сернистый ангидрид относятся к веществам, обладающим удушающим и общеядовитым действием (к ним относится значительное количество АХОВ (азотная кислота, фтористый водород и др.), способным при ингаляционном воздействии вызывать токсический отек легких, а при резорбции нарушать энергетический обмен).

Общий характер действия и признаки поражения АХОВ представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

### Общий характер действия и признаки поражения АХОВ

Наименование АХОВ	Общий характер действия	Признаки поражения
Окислы азота (NO, NO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	Характер действия зависит от состава окислов. Токсическое действие протекает в основном по раздражающему или нитритному типу действия. При контакте с влажной поверхностью легких образуются HNO <sub>3</sub> и HNO <sub>2</sub> , поражающие альвеолярную ткань, что приводит к отеку легких и сложным рефлекторным расстройствам. В крови образуются нитраты и нитриты, которые действуя на артерии, вызывают расширение сосудов и снижение кровяного давления. Нитриты превращают оксигемоглобин в метгемоглобин. Повреждение эритроцитов, отек легких приводят к кислородной недостаточности	Наблюдаются: раздражение дыхательных путей, глаз, сильный кашель, иногда головная боль, рвота. Пострадавший чувствует невозможность сделать глубокий вдох. Через 2–12 часов после воздействия паров развиваются: чувство страха и сильной слабости; нарастающий кашель сначала с лимонно-желтой, а затем с кровянистой мокротой; иногда озноб, повышение температуры, учащенное сердцебиение, сильная синюха. Могут быть значительные расстройства желудочно-кишечного тракта, тошнота, мучительные боли в диафрагме, рвота, понос, жажда

Наименование АХОВ	Общий характер действия	Признаки поражения
<p>Оксид углерода (угарный газ) CO</p>	<p>Вытесняет кислород из оксигемоглобина крови, образуя карбоксигемоглобин. Содержание кислорода может снижаться с 18-20% до 8% (аноксемия). Оксид углерода способна оказывать непосредственное токсическое действие на клетки, нарушая тканевое дыхание.</p> <p>Влияет на углеводный обмен, повышая уровень сахара в крови. Нарушает фосфорный и азотистый обмен. Смерть наступает от остановки дыхания.</p> <p>Особенно чувствительны к действию оксида углерода: молодые люди; лица, страдающие бронхитом и астмой, болезнями легких, печени, органов кровообращения, диабетом</p>	<p>При действии оксида углерода наблюдаются: тяжесть и ощущение сдавливания головы, сильная боль во лбу и висках, головокружение; шум в ушах; покраснение и жжение кожи лица, дрожь, чувство слабости и страха, жажда; учащение пульса, пульсация височных артерий; тошнота, рвота. В дальнейшем проявляются: оцепенелость, слабость и безучастность, сонливость. Температура тела может повышаться до 38-40 °С.</p> <p>В дальнейшем наступают потеря сознания, рвота</p>
<p>Сернистый ангидрид (диоксид серы) SO<sub>2</sub></p>	<p>Поражает слизистые оболочки вследствие образования сернистой или серной кислоты, вызывающих сильное местное раздражение. Развиваются спазм бронхов и увеличение сопротивления дыхательных путей; нарушается углеводный и белковый обмен; угнетаются окислительные процессы в головном мозге, печени, селезенке, мышцах</p>	<p>Раздражение глаз и носоглотки. Чихание и кашель возникают при кратковременном воздействии. При длительном воздействии наблюдается рвота; речь и глотание затруднены. Смерть может наступить от удушья вследствие рефлекторного спазма голосовой щели, внезапной остановки кровообращения в легких или шока, а также от отека легких</p>

Наименование АХОВ	Общий характер действия	Признаки поражения
Цианистый водород (синильная кислота) HCN	Ингибитор ферментов дыхательной цепи. Действует посредством мгновенной блокады внутриклеточных железосодержащих дыхательных ферментов, что препятствует использованию тканями кислорода, доставляемого кровью; развивается «внутреннее удушье». Нарушается также функция центральной нервной системы. Поражение возможно через органы дыхания, а также при приеме внутрь ядов, отщепляющих цианиды	При вдыхании низких концентраций или приеме внутрь яда проявляются: чувство жара, головокружение, недостаток воздуха; покраснение кожи, шум в ушах; расстройство зрения, тошнота, рвота. Нарушаются функции сердца. При вдыхании высоких концентраций – в течение нескольких секунд или минут после вскривания появляются судороги, затем наступает смерть

Рассмотрим сторание твердых бытовых отходов как аварийный выброс загрязняющих веществ в атмосферу. Задача исследования на данном этапе заключается в оценке опасности выбросов таких веществ для населения, проживающего вблизи рассматриваемых объектов.

В частности, в ходе исследования рассмотрим токсическое воздействие, как один из основных физиологических и биологических факторов поражения человека.

Для решения поставленной научной задачи при прогнозировании последствий в случае пожара на полигоне ТБО необходимо определить размеры зон загрязнения ОХВ, образующихся при горении отходов, и воздействие в их пределах опасного фактора на уровне дыхания людей. Опасные факторы определялись концентрацией вредных примесей, а также временем действия.

### 3.2. Методический аппарат прогнозирования параметров опасных зон для населения при развитии аварийных сценариев с пожарами на полигонах твердых бытовых отходов

Существует ряд методик для количественной оценки последствий химических аварий с выбросом ОХВ в атмосферу [59, 60, 61, 70]. С их помощью определяются значения концентраций различных вредных ингредиентов для введения нормативов на предельно допустимые выбросы промышленных предприятий (ПДВ) [61, 70].

Однако необходимо отметить, что мера воздействия, а именно поглощенная токсодоза, может вызывать последствия разной тяжести у различных людей, т. е. «эффект поражения» носит вероятностный характер [58, с. 28].

В ходе исследования проведен анализ математических моделей по массопереносу веществ в пространстве с использованием как оперативных, так и точных методов [59, 60, 61]. Однако существующие модели не позволяют рассчитывать вероятность поражения человека в заданной точке пространства в зависимости от негативного воздействия, что является в настоящее время существенным недостатком. В связи с этим предлагается доработка методики оценки последствий химических аварий [59] путем перехода от оценки токсического эффекта к вероятности поражения с применением пробит-функции.

В аналитическом выражении (3.1) по значению накопленной суммарной поглощенной дозы вероятные зоны поражения определяются путем решения функционала вида:

$$P_{\text{ПОР}} = f(P_r) = f(a + b \cdot \ln(D)), \quad (3.1)$$

где:

$P_{\text{ПОР}}$  — вероятность поражения человека в инертной точке пространства;

$P_r$  — условная вероятность поражения человека, описываемая функцией вида:

$$P_r = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{P_r-5} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt, \quad (3.2)$$

так называемой функцией Гаусса (функцией ошибок), и имеющей табулированные значения;

$a$ ,  $b$  и  $n$  — константы конкретного вещества, характеризующие специфику и меру опасности его воздействия [58];

$D$  — поглощенная доза негативного ингаляционного воздействия определяется зависимостью (3.3):

$$D = \int_{\tau=t_{\text{под}}}^{\tau=t_{\text{рас}}-t_{\text{под}}} C^n d\tau, \quad (3.3)$$

где:

$C_n$  — концентрация опасного химического вещества, кг/м<sup>3</sup>, получаемая на основе «Методики ТОКСИ», разработанной НТЦ «Промышленная безопасность» Госгортехнадзора России [59];

$\tau$  — время ингаляционного воздействия, с;

$t_{\text{под}}$  — время подхода облака к рассчитываемой точке, с;

$t_{\text{рас}}$  — расчетное время, с.

На основе полученных значений токсодозы с использованием математических моделей массопереноса в конкретной точке пространства, используемых в работах [20, 59, 86], рассчитывается вероятность поражения человека, что позволяет осуществить зонирование территории путем выделения участков с одинаковыми значениями (табл. 3.2) [85].

Таблица 3.2

### Критерии зонирования опасной территории вокруг опасных объектов

Характеристика зоны поражения	Вероятность поражения человека, $P_{\text{ПОР}}$
Зона безопасности	$P_{\text{ПОР}} \leq 0,01$
Зона возможного слабого поражения	$0,1 < P_{\text{ПОР}} \leq 0,33$
Зона возможного среднего поражения	$0,33 < P_{\text{ПОР}} \leq 0,5$
Зона возможного сильного поражения	$0,5 < P_{\text{ПОР}} \leq 0,99$
Зона безусловного поражения	$P_{\text{ПОР}} > 0,99$

Структура потерь оценивается поражением населения различной степени тяжести. Для оперативных расчетов принимается, что все незащищенное население, оказавшееся в пределах очага заражения, может получить:

35% — смертельные поражения;

40% — поражения тяжелой и средней степени тяжести;

25% — легкие поражения.

На площади зоны распространения АХОВ выделяют четыре зоны: смертельного поражения — гибель пораженных после воздействия АХОВ в различные сроки;

среднего поражения — госпитализация пораженных на длительные сроки (более 2–3 суток);

легкого поражения — кратковременная госпитализация или амбулаторное лечение пораженных;

пороговую — пораженные ощущают лишь первичные признаки поражения.

Исходя из вышесказанного, с целью проведения зонирования территории вокруг полигонов ТБО предлагаются следующие критерии опасных зон вероятности поражения человека (см. табл. 3.3).

Таблица 3.3

**Вариант критериев зонирования опасной территории вокруг полигонов твердых бытовых отходов**

Наименование зоны поражения	Вероятность поражения человека, $P_{\text{ПОР}}$	Характеристика зоны поражения
Зона безопасности, $P_5$	$P_{\text{ПОР}} \leq 0,01$	Отсутствуют какие-либо признаки отравления
Зона возможного слабого поражения, $P_4$	$0,01 < P_{\text{ПОР}} \leq 0,33$	Появление первых клинических признаков отравления
Зона возможного среднего поражения, $P_3$	$0,33 < P_{\text{ПОР}} \leq 0,5$	Отравления легкой и средней степени тяжести
Зона возможного сильного поражения, $P_2$	$0,5 < P_{\text{ПОР}} \leq 0,99$	Отравления тяжелой степени тяжести
Зона безусловного поражения, $P_1$	$P_{\text{ПОР}} > 0,99$	Возможная гибель пораженных после воздействия ОХВ в различные сроки

Приведенная в табл. 3.3 характеристика зоны поражения является усредненной, поскольку результаты токсикологического воздействия существенно зависят от текущего состояния человека, его возраста, физических данных.

Таким образом, для решения задачи по зонированию территории вокруг полигонов ТБО для любой точки пространства необходимо определить концентрацию и токсодозу ОХВ, а также произвести расчет вероятности поражения человека при нахождении его в какой-либо точке пространства.

Анализ математических моделей показал, что наиболее целесообразным является использование математической модели оценки последствий химических аварий, разработанной НТЦ «Промышленная безопасность» [59], при внедрении добавочного расчетного блока, позволяющего определить зависимость суммарной поглощенной дозы токсикологического воздействия на организм человека ингаляционным путем, математическое выражение которого представлено зависимостью (3.3).

В результате реализации данного подхода выявляются размеры опасного воздействия с вероятностными параметрами поражения (гибели) человека.

Для разработки методики, позволяющей в зависимости от направления ветра производить расчет вероятности поражения человека (пробит — функцию) для конкретной точки двухмерного или трехмерного пространства, в соответствии с проведенным анализом математических моделей распространения зараженного воздуха в пространстве предлагается алгоритм зонирования территорий вокруг полигонов твердых бытовых отходов.

В основу алгоритма положены методика «Токси» [59] и расчетно-аналитический блок определения вероятности поражения человека в опасных зонах по накопленной суммарной токсодозе.

Исходя из условий образования ОХВ, формирующихся в результате горения ТБО на полигонах, была доработана существующая методика путем изменения сценария III — «Сгорание ТБО с формированием ОХВ из места горения» и добавления в расчетный блок показателей ОХВ сернистого ангидрида и диоксида азота, что позволило определить:

пространственно-временное поле концентраций ОХВ в атмосфере;  
размеры зон загрязнения ОХВ, соответствующие различной степени поражения людей, определяемой по смертельной и пороговой токсодозам при ингаляционном воздействии на организм человека.

Исходными данными для расчета являются:

физико-химические и токсикологические характеристики ОХВ;  
 количество ОХВ, образующихся при горении ТБО;  
 топографические характеристики территории вблизи полигона ТБО;  
 метеоусловия на момент пожара;  
 время экспозиции.

Принятые ограничения и допущения:

газообразное ОХВ считается идеальным газом, свойства которого не зависят от температуры;

в образовавшемся сразу после выброса облаке находится только ОХВ без подмешивания воздуха;

при расчете рассеяния ОХВ в атмосфере используется гауссова модель диффузии пассивной примеси с учетом высоты образующейся при пожаре конвективной колонки;

осаждение на подстилающую поверхность выброса ОХВ и его химические превращения при рассеянии не учитываются.

Возникновение пожаров характеризуется образованием конвективной колонки (КК), в которую выбрасываются нагретые продукты горения. Ее наличие способствует снижению концентрации продуктов горения в приземном слое атмосферы, т.к. фактическая высота источника заражения увеличивается и будет влиять на размеры зоны заражения.

В зависимости от скорости ветра и масштаба пожара КК может развиваться до больших высот  $H$  (особенно при низкой скорости ветра), вследствие чего приземная концентрация продуктов горения вблизи формирования колонки незначительна и достигает максимума вдоль центральной линии по направлению ветра при некотором значении  $x$ , а затем может уменьшаться при дальнейшем удалении от источника.

Таблица 3.4

**Параметры опасных химических веществ**

[28, 29, 37, 58, 91, 99]

№ п.п.	Параметр	Наименование ОХВ			
		Окись углерода	Цианистый водород	Сернистый ангидрид	Диоксид азота
1	Молярная масса, кг/моль	28	27	64	46
2	Плотность газа, кг/м <sup>3</sup>	0,97	0,9	0,0029	0,0014
3	Плотность жидкости, кг/ м <sup>3</sup>	1000	689	1462	1226

4	Температура кипения, °С	-191,6	25,6	-10,1	21
5	Теплоемкость жидкого ОХВ, Дж/кг/°С	1,04	1,33	1,45	1,1
6	Показатель адиабаты газового ОХВ	1,29	1,31	1,43	1,36
7	Пороговая токсодоза, мг•мин/л	10,0	0,2	1,8	1,5
8	Смертельная токсодоза, мг•мин/л	37,5	6	15,7	20,4
9	Теплота испарения жидкого ОХВ, Дж/кг	216	933	361	253
10	Коэффициент для расчета пробит-функции "а"	-37,98	-9,8	-15,67	-13,79
11	Коэффициент для расчета пробит-функции "b"	3,7	1	2,1	1,4
12	Коэффициент для расчета пробит-функции "n"	1	2,4	1	2

Вертикальный подъем продуктов горения и образующихся ОХВ при горении ТБО на полигоне осуществляется с некоторого уровня  $H_0$ , за который принимается высота факела пламени как за счет термической плавучести, обусловленной разностью температур выброшенных продуктов горения и окружающего воздуха, так и инерции. При этом подъем продолжается до уровня  $H$ , на котором значение вертикальной скорости подъема ( $\omega$ ) оказывается очень мало по сравнению со скоростью ветра, и перенос примеси становится примерно горизонтальным. Таким образом, за высоту подъема продуктов горения принимается уровень, где скорость подъема ( $\omega$ ) равна нулевому значению.

Исходя из сказанного, высоту  $H$  можно определить, как сумму высоты факела пламени  $L$  и высоты подъема продуктов горения за счет термической плавучести и инерции  $\Delta h$ :

$$H = L + \Delta h. \quad (3.4)$$

Для определения высоты факела пламени ( $L$ ) можно использовать формулы следующего вида:

$L' = 0,025 (Q_H m_2 d)^{2/3}$  — при открытом горении жидкостей;

$L' = 0,025 (Q_H m_2 d - h)^{2/3}$  — при открытом горении твердых материалов,

где:

$Q_H$  — низшая теплопроводность горючего вещества (материала), кДж/кг;

$h$  — безразмерный коэффициент, численно равный высоте горящего слоя, м;

$d$  — характерный линейный размер очага пожара, м.

Результаты расчетов по указанным формулам имеют хорошую сходимость при низкой (меньше 1 м/с) скорости ветра. При более высокой скорости ветра необходимо учитывать образующийся наклон факела к земной поверхности. Соответственно значение  $L$  в формуле (3.4) определяется:

$$L = a L'. \quad (3.5)$$

Здесь  $L'$  определяется по (3.4),  $a = \sin\lambda$ ;  $\lambda$  — угол наклона оси факела пламени к горизонту.

Усредненные значения коэффициента  $a$  приведены в табл. 3.5.

Таблица 3.5

**Значения коэффициента  $a$  в зависимости от скорости ветра**

Скорость ветра, м/с	< 1	1,1–2	2,1–3	3,1–5	5,1–10	> 10
$a$	1	0,9	0,5	0,3	0,1	0,05

Ввиду того, что строгое аналитическое решение задачи определения высоты подъема продуктов горения при учете всех необходимых условий (в т. ч. взаимодействия КК с окружающей средой; фазовых переходов с выделением (поглощением) тепла; наличия определенной степени вертикальной устойчивости атмосферы и т. д.) вследствие сложности задачи в настоящее время не представляется возможным; для приближенной теоретической оценки высоты подъема могут применяться

упрощенные модели. Таковыми, в частности, являются модели расчета высоты подъема дымовых струй из труб промышленных предприятий. Данная посылка может иметь место, т.к. в этом случае вместо реального источника загрязнений на геометрической высоте трубы  $h_T$  рассматривается условный источник на более высоком уровне  $h_H$ , определяемом из выражения:

$$h_H = h_T + \Delta h, \quad (3.6)$$

где  $\Delta h$  — приращение высоты дымовой струи, обусловленное действием подъемной силы горячих газов и момента количества движения газов, выбрасываемых из трубы вертикально со скоростью  $V_S$  (начальная скорость).

В общем виде многочисленные формулы для определения  $\Delta h$  описываются соотношением:

$$\Delta h = a \left( \frac{D \cdot \omega}{v} + B \right), \quad (3.7)$$

где:

$D$  — диаметр устья трубы, м;

$\omega$  — вертикальная, направленная вверх составляющая скорости выхода загрязненного воздуха, м/с;

$v$  — скорость ветра на высоте флюгера, м/с.

$$B = \frac{F_T}{v^3}, F_T = 0,25 \cdot g \cdot \omega \cdot D^2 \frac{\Delta T}{T_a} \cong g \cdot \omega S^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{\Delta T}{T_a}, \quad (3.8)$$

где:

$\Delta T$  — перегрев выходящих газов, °С;

$T_a$  — абсолютная температура воздуха, К;

$g$  — ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;

$S$  — площадь сечения трубы, м<sup>2</sup>.

Существенно влияет на величину концентрации вредных веществ в приземном слое  $\omega$  малая скорость ветра (до 2 м/с). С увеличением скорости ветра это явление уменьшается и при  $v = 5-6$  м/с различие составляет единицы процента и может быть равным  $\omega = 0$ .

Параметр  $D$  рассматривается как характерный линейный размер сечения колонки, перпендикулярного ее оси, на уровне  $H_0 = L$ . Численное значение  $D$  приравнивается к характерному линейному размеру пожара в предположении, что факел пламени имеет форму цилиндра, образующей которого является окружность или эллипс,  $S$  представляется как площадь очага пожара.

Таким образом, высота конвективной колонки  $H$  может быть определена по формуле:

$$H = L + a \left( \frac{\omega \cdot S_n^{\frac{1}{2}}}{v} + \frac{g \cdot V \cdot \Delta T}{T_a \cdot v^3} \right), \quad (3.9)$$

где:

$$V = S_n \omega, \quad (3.10)$$

$V$  — объемный расход продуктов горения, м<sup>3</sup>/с;

$S_n$  — площадь очага пожара, м<sup>2</sup>.

Результат расчетов по формуле (3.9) представлен в табл. 3.6.

Таблица 3.6

### Расчетные значения высоты подъема продуктов горения

№ п.п.	Характеристика условий образования колонок			Расчетная высота продуктов горения, м
	$T_a$ , К	$v$ , м/с	$S$ , м <sup>2</sup>	
1	283	2,5	12	49,5
2	290	5	73	41,0
3	280	2,9	23	70

**Примечание:** начальная температура газовой смеси принималась  $\Delta T = 1100$  °С; начальная скорость продуктов горения  $\omega = 3$  м/с.

В инверсионных условиях летучие загрязнения из высоких источников типа труб промышленных предприятий не стремятся приблизиться к земной поверхности, которой достигает лишь небольшое количество загрязнителей. Соответственно, с точки зрения загрязнения приземного слоя атмосферы такие условия рассматриваются как неопасные. Применительно к пожарам это соответствует скоростям ветра  $\leq 2$  м/с, когда высота образующей конвективной колонки достигает максимальных значений. Однако, если значение скорости ветра составляет свыше 2 до 4 м/с (при скорости ветра выше 4 м/с происходит разрушение инверсии), высота КК существенно уменьшается, вследствие чего значительная часть загрязнителей — ОХВ достигает уровня земли.

Определение значений площади пожара  $S_n$ , количества ОХВ  $M$ , образующихся при горении ТБО на полигоне, проводилось применительно к горючей нагрузке, в зависимости от развития и продолжительности горения ТБО на полигоне.

Количество ОХВ, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени (кг/с), определялось по формуле:

$$M = V_m \cdot S_n \cdot Q, \quad (3.11)$$

где:

$V_m$  — массовая скорость выгорания ТБО, принимали равной 0,017 кг/(м<sup>2</sup>·с) согласно [25];

$Q$  — удельный выброс  $i$ -го вещества (табл. 2.5), кг/кг.

Площадь пожара  $S_n$ , определяли исходя из продолжительности горения  $T$  ТБО на полигоне. При этом общее время зависит от показателя времени загорания и времени выгорания ТБО с рабочей карты полигона:

$$\text{время загорания (с) определяется как } t_{\text{заг}} = \frac{R_n}{V_p}, \quad (3.12)$$

где:

$V_p$  — скорость распространения горения ТБО, равная 0,038 м/с согласно [25];

$R_n$  — радиус очага пожара, м.

$$\text{Время прогорания (с) определяется как, } t_{\text{прог}} = \frac{h \cdot \rho}{V_m}, \quad (3.13)$$

где:

$\rho$  — плотность отходов после уплотнения в соответствии с инструкцией [46] принимается  $\rho = 670 \text{ кг/м}^3$ ;

$h$  — высота уплотненного слоя ТБО, которая согласно инструкции [46] составляет 2 м.

$$\text{Время догорания, с } - t_{\text{дог}} = T - t_{\text{прог}}, \quad (3.14)$$

где  $T = t_{\text{заг}} + t_{\text{прог}}$ .

Площадь развития пожара  $S_n$  за время  $t_i$  принимаем:

$$\text{площадь загорания, кв. м: } S_{\text{заг}} = \pi(V_p \cdot t_i)^2, \quad (3.15)$$

$$\text{площадь прогорания, кв. м: } S_{\text{прог}} = \pi(V_p \cdot t_i)^2, \quad (3.16)$$

$$\text{площадь догорания, кв. м: } S_{\text{дог}} = \pi R^2 \cdot \pi(V_p \cdot (t_i - t_{\text{прог}}))^2. \quad (3.17)$$

Тогда формула (3.11) принимает вид:

$$M = V_m \cdot Q \cdot \sum_{t_i=0}^T S_i. \quad (3.18)$$

Зависимость количества ОХВ, образующегося при горении ТБО, от времени  $t$  приведена на рис. 3.1.

Используя разработанную методику «Токси ТБО», были проведены расчеты для диоксида азота, окиси углерода, цианистого водорода и сернистого ангидрида. Полученные данные представлены в табл. 3.7.

Полученные результаты представляют:

1. Глубину вероятных зон поражения населения ОХВ при горении отходов на рабочей карте полигона ТБО.

2. Значение токсодозы ОХВ и ее изменение в зависимости от расстояния до очага пожара.

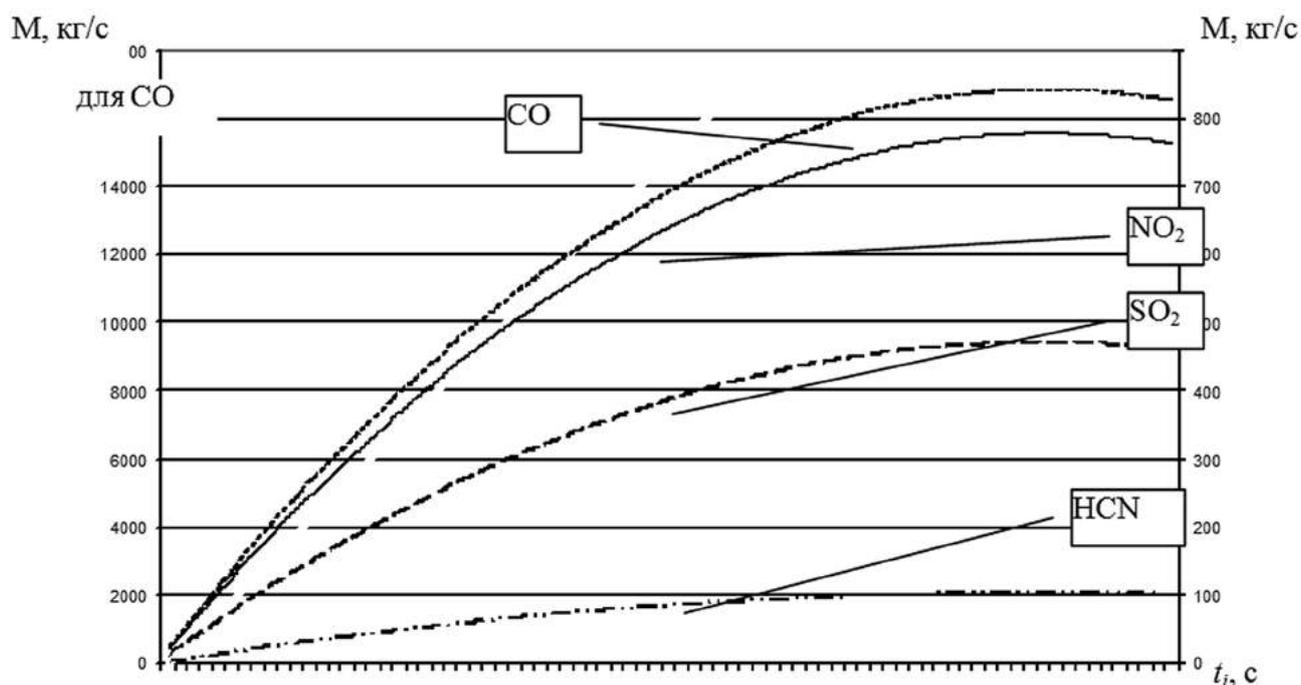


Рис. 3.1. Образование количества ОХВ в зависимости от времени продолжительности горения ТБО

Таблица 3.7

**Расчетные значения, характеризующие распространение ОХВ в атмосфере**

ОХВ	Расчетное время, мин	Зона пороговой токсодозы, м	Зона смертельной токсодозы, м	Вероятная зона поражения, м				Высота источника выброса, м
				P1	P2	P3	P4	
NO <sub>2</sub>	60	3028	783	1435	1750	1765	1790	1
CO	90	5558	2818	2515	2655	2745	2765	2
HCN	50	3042	517	520	825	885	1220	1
SO <sub>2</sub>	40	2084	674	650	1045	1200	1875	0

3. Условную вероятность поражения населения в зависимости от расстояния до эпицентра горения.

Результаты расчетов (табл. 3.7) характеризуют процесс горения ТБО в пределах рабочей карты полигона (площадь рабочей карты  $S$  — 150 кв. м).

В дальнейшем, при изменении значения  $S_n$ , учитывая удельный выброс вредных веществ при сгорании ТБО (табл. 2.5) и проведя расчеты при помощи методики «Токси ТБО», были определены вероятные зоны поражения человека в зависимости от площади пожара на полигоне ТБО.

Результаты представлены в табл. 3.8. Наименование вероятных зон поражения принимаем согласно табл. 3.3.

Проведенные расчеты позволили получить графики по определению вероятных зон поражения человека ОХВ в зависимости от площади пожара ТБО на полигоне и удалении от него (рис. 3.2–3.5), которые могут быть использованы органами управления РСЧС для оперативных расчетов по оценке воздействия полигонов ТБО на население, проживающее вблизи них.

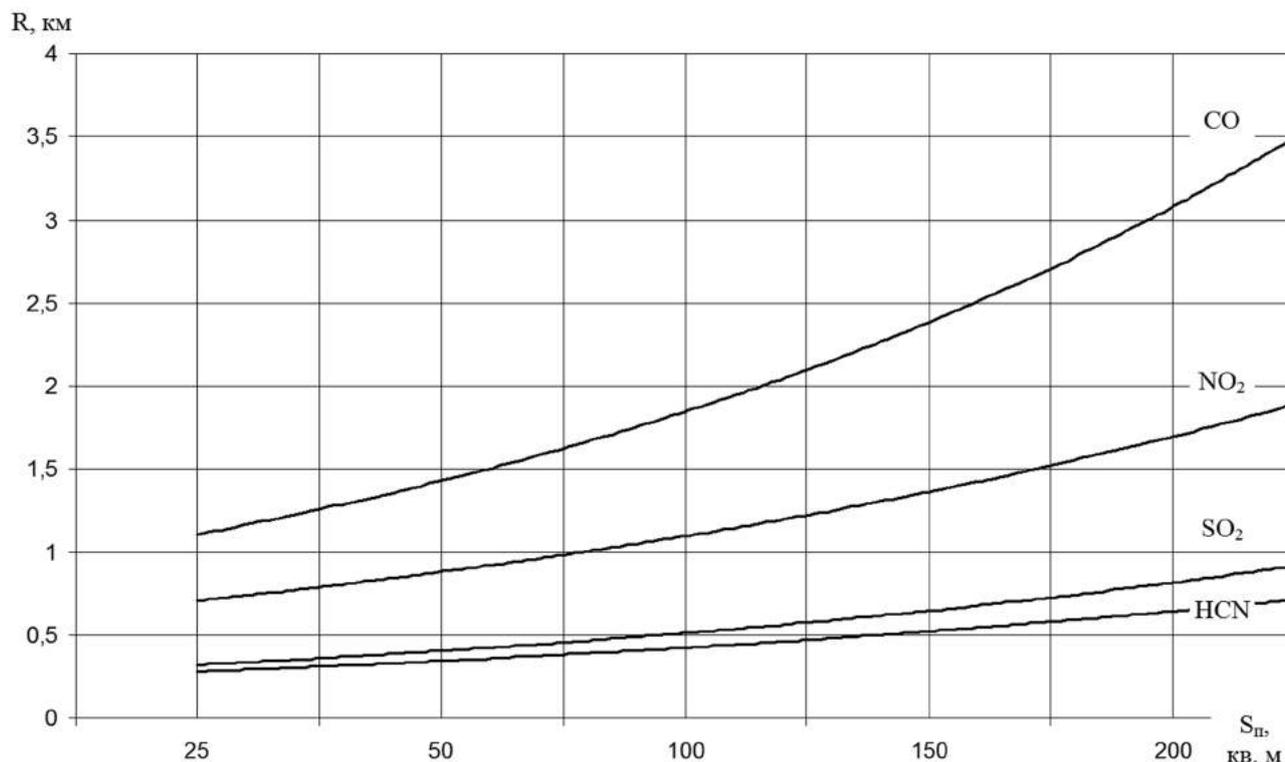


Рис. 3.2. График для определения вероятной зоны безусловного поражения человека ОХВ в зависимости от площади пожара ТБО на полигоне (S<sub>п</sub>) и удалении от него (R)

Таблица 3.8

**Значения вероятных зон поражения человека ( $P_1 - P_4$ ) в зависимости от площади пожара ( $S_n$ ) на полигоне ТБО**

$S, m^2$	$P_1$				$P_2$				$P_3$				$P_4$			
	HCN	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	HCN	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	HCN	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	HCN	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO
25	265	230	670	865	390	410	945	880	420	460	1010	885	580	735	1335	890
50	350	330	890	1845	520	590	1260	1000	560	660	1345	2015	765	1050	1710	2050
100	465	475	1190	2010	690	850	1670	2050	740	945	1715	2055	1020	1510	1775	2070
150	520	650	1400	2500	825	1045	1710	2530	885	1200	1750	2600	1220	1675	1780	2630
200	615	685	1590	2605	910	1210	1770	2650	980	1360	1795	2655	1345	1710	1790	2670

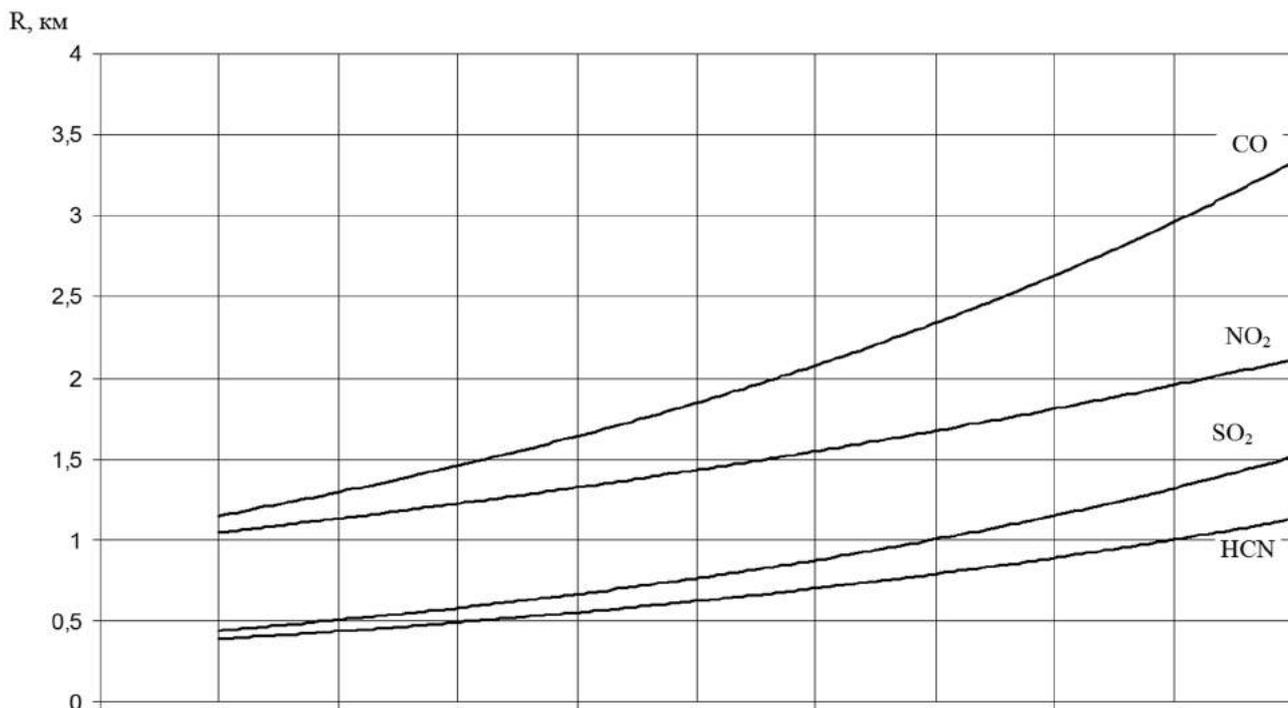


Рис. 3.3. График для определения вероятной зоны возможного сильного поражения человека ОХВ в зависимости от площади пожара ТБО на полигоне ( $S_{\text{п}}$ ) и удалении от него ( $R$ )

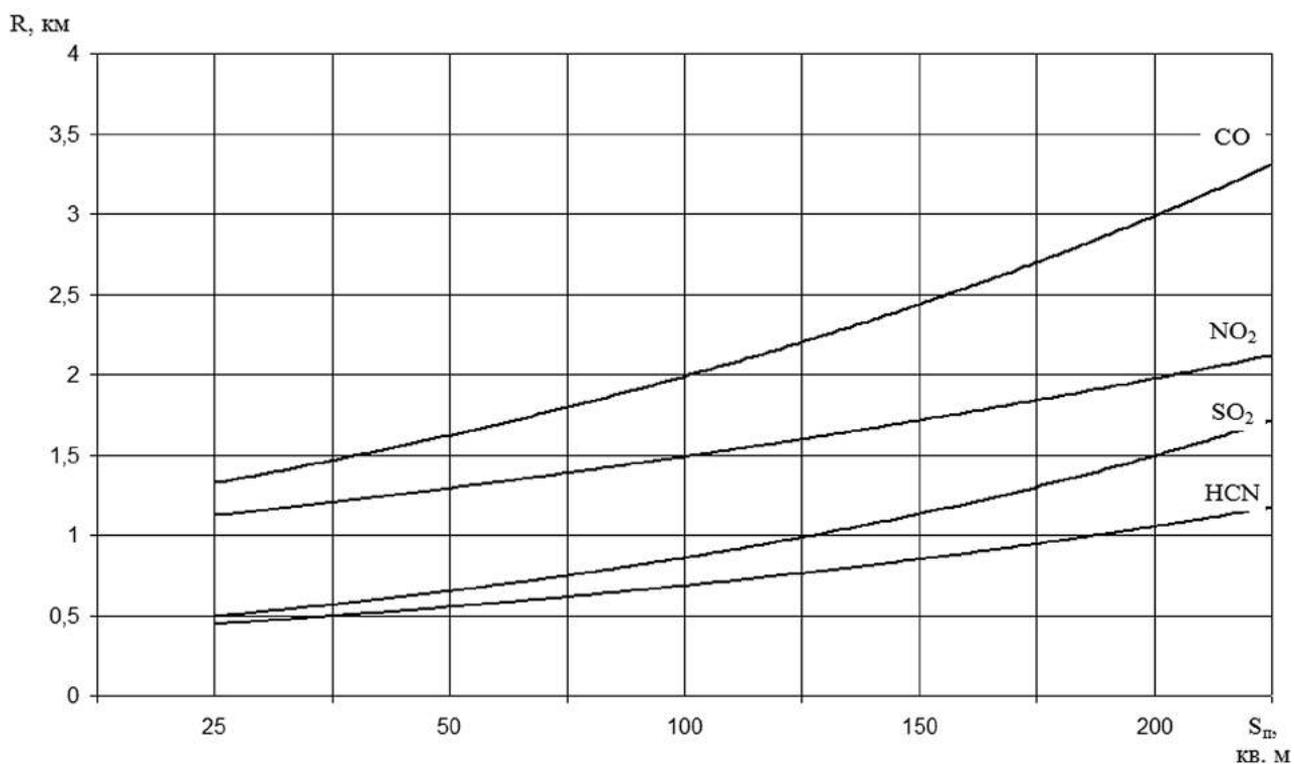


Рис. 3.4. График для определения вероятной зоны возможного среднего поражения человека ОХВ в зависимости от площади пожара ТБО на полигоне ( $S_{\text{п}}$ ) и удалении от него ( $R$ )

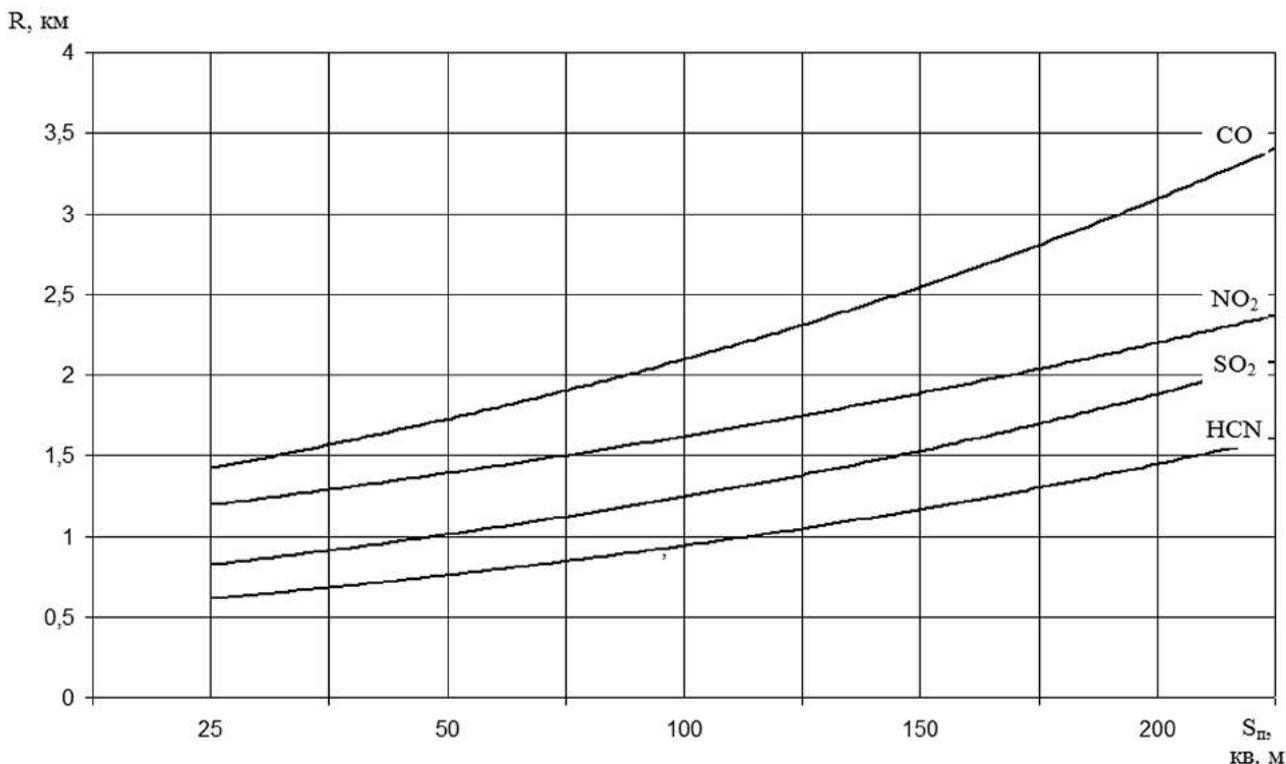


Рис. 3.5. График для определения вероятной зоны возможного слабого поражения человека ОХВ в зависимости от площади пожара ТБО на полигоне ( $S_p$ ) и удалении от него ( $R$ )

Таким образом, предлагаемая методика позволяет определять зоны безусловного поражения, возможного сильного поражения, возможного среднего поражения, возможного слабого поражения и безопасности. Условием расчетной суммарной токсодозы является определение времени нахождения человека в зоне зараженного воздуха с учетом времени формирования облака.

Значение интегральной пробит-функции для многих ОХВ в разных источниках определяется коэффициентами, существенно отличающимися друг от друга. Однако полученный научный результат по распространению ОХВ (диоксида углерода, диоксида азота), образующихся в результате горения ТБО на полигоне, подтверждается наблюдениями, проведенными Центром мониторинга загрязнения окружающей среды г. Якутска по оценке влияния продуктов горения с городской свалки на жилые районы города, и попадает в порядок значений.

Результаты работы позволяют осуществлять сравнительную оценку опасности различных ОХВ, образующихся в результате горения ТБО на полигонах, и определять значение индивидуального риска в опасных зонах.

Методический подход и доработанная на его основе методика позволяют: моделировать распространение зараженного воздуха в трехмерном пространстве; осуществлять зонирование территории вокруг полигонов ТБО путем выявления вероятных зон поражения человека ОХВ, образующихся в результате горения ТБО на полигонах. Разработанный подход способствует оценке целесообразности выбора способов защиты, разработке комплекса мероприятий по защите персонала объекта и населения, проживающего в непосредственной близости.

### **3.3. Применение информационных технологий для решения задач по комплексной оценке безопасности урбанизированных территорий**

В настоящее время в области комплексного зонирования территорий предусматривается ранжирование аварийных техногенных ситуаций по степени опасности, исходя из критериев и масштабности аварии. Анализ параметров состояния территории и прогноза их изменения во времени осуществляется с использованием современных географических информационных систем и технологий (ГИС-технологий).

Географическая информационная система (ГИС), с точки зрения решения информационных задач, — это пространственно-распределенная, координатно-ориентированная база данных. Она представляет собой программную систему для обработки картографических (географических) и атрибутивных (семантических) данных об объектах и явлениях окружающего мира. ГИС позволяет проводить сбор, хранение, анализ и картирование любых данных об объектах и явлениях на основе их пространственного положения. Эта современная компьютерная технология обеспечивает интеграцию баз данных (БД) и операций над ними, таких как запрос и статический анализ, с мощными средствами представления данных, результатов запросов, выборок и аналитических расчетов в наглядной легко читаемой, картографической форме. ГИС — это значительно больше, чем электронные карты на экране компьютера [34]. Они обеспечивают создание, отображение и совместный анализ различных типов данных: атрибутивных, векторных, растровых, систем автоматизированного проектирования (САПР) и других.

Пространственный аспект в информации о чрезвычайной ситуации (ЧС) является наиважнейшим. Важно знать не только характер и размер

угрозы, но и местоположение, особенно в аспекте ее влияния на находящиеся поблизости людей, материальные ценности и территории. Исходя из этого, картографическое представление является основным при ликвидации ЧС, а ГИС — наиболее подходящим инструментом.

Работа по ликвидации ЧС многогранна, она охватывает целый комплекс превентивных и оперативных мероприятий, в том числе исследование и прогнозирование показателей возможной обстановки. Подобное исследование учитывает пространственное взаимодействие различных факторов, образующих опасность. При исследовании необходимы: топографический анализ; анализ близости опасных объектов; построение зон поражения; гидрологическое моделирование; анализ пространственно-временных рядов.

Существенная часть деятельности территориальных органов управления РСЧС связана со сбором и систематизацией информации об источниках возможных опасностей, их воздействием на население и территории соответствующего субъекта Российской Федерации. Это направление особенно важно в условиях смещения акцентов в деятельности МЧС России от решения задач ликвидации ЧС к решению задач их предупреждения. Концепция анализа и управления рисками предусматривает получение и обработку большого количества пространственной информации и отображение на картах территорий зон различного (в первую очередь — повышенного) риска.

Для решения этих задач применяются ГИС-технологии, которые позволяют в кратчайшие сроки создавать бумажные карты с самой свежей информацией о ЧС. Более того, средства моделирования, имеющиеся в современных программных ГИС-пакетах, позволяют «на лету» прогнозировать развитие ситуации [16].

Главным преимуществом ГИС является наиболее «естественное» (для человека) предоставление как собственно пространственной информации, так и любой другой информации, имеющей отношение к объектам и явлениям, расположенным в пространстве.

Применение ГИС-технологий с привязкой данных и визуализацией моделируемых процессов позволяет осуществлять планирование мероприятий по защите населения в случаях возникновения чрезвычайных ситуаций.

Таким образом, современные ГИС-технологии способны сократить сроки реагирования на ЧС, повысить точность расчетов и эффективность использования сил и средств.

В общем виде место ГИС для оценки и прогнозирования чрезвычайных ситуаций представлено на рис. 3.6.

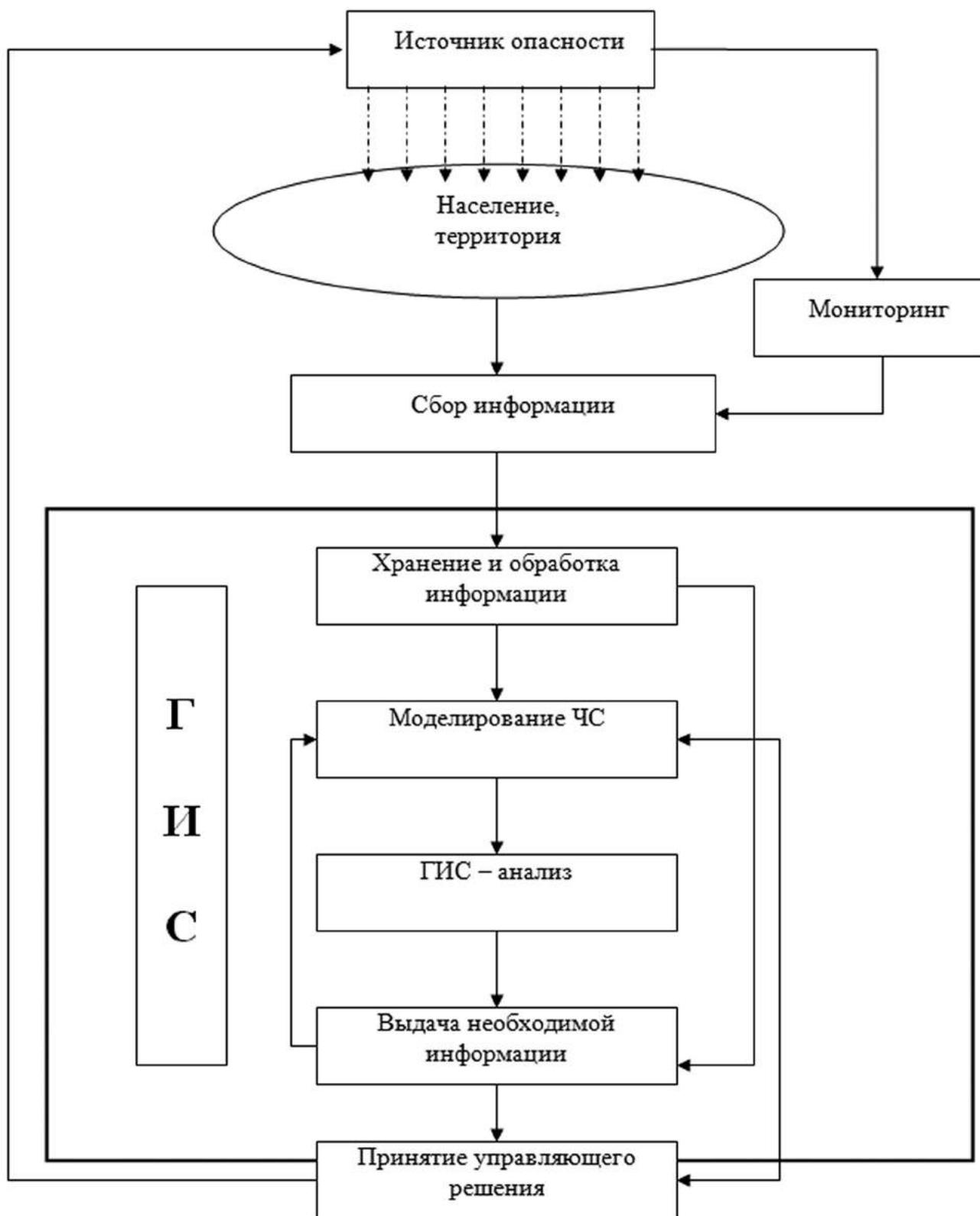


Рис. 3.6. Место географических информационных систем для оценки и прогнозирования чрезвычайных ситуаций

### **3.4. Рекомендации органам управления РСЧС по прогнозированию параметров опасных зон для населения, проживающего вблизи полигонов твердых бытовых отходов, и снижению опасности их функционирования**

Выполненные исследования позволили разработать практические рекомендации по прогнозированию параметров опасных зон для населения, проживающего вблизи полигонов ТБО, и снижению опасности их функционирования.

Как указывалось ранее в нормативной литературе, требования к таким зонам представлены в СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» [87], среди которых выделяют следующие СЗЗ:

для усовершенствованных свалок ТБО — 1000 м;

для полигонов и участков компостирования ТБО — 500 м.

Проведенные исследования показали, что при возникновении пожара на полигоне ТБО вероятные зоны распространения опасных химических веществ, образующиеся в результате сгорания отходов, могут превышать размеры установленных СЗЗ. Апробация методического аппарата на полигоне ТБО «Левобережный» показала, что в вероятные зоны поражения ОХВ попадает население, проживающее в н.п. Терехово и Тарбеево. Для эффективной оценки безопасности этого населения необходимо уточнить уровень приемлемого риска на рассматриваемой территории.

Таким образом, в качестве основных рекомендаций по прогнозированию параметров опасных зон для населения, проживающего вблизи полигонов ТБО, и снижению опасности их функционирования можно выделить следующие.

Во-первых, это реализация геоматематической модели для определения вероятных зон поражения человека при воздействии определенного ОХВ (оксида углерода, цианистого водорода, сернистого ангидрида, диоксида азота). При этом должны использоваться критерии зонирования опасной территории вокруг полигонов ТБО (табл. 3.3).

Шаг 1: Определение вероятности реализации пожара на полигоне ТБО. Для чего рекомендуется использовать:

статистические данные по возникновению пожара на конкретном полигоне ТБО;

экспертные оценки специалистов в данной области.

Шаг 2: Определение параметров опасных зон действия ОХВ для человека.

При этом удаленность границ вероятных зон определялась с помощью пробит-функции, отражающей связь между вероятностью поражения и поглощенной дозой негативного воздействия. Вероятность поражения человека  $P_{ПОР}$  принимается из табл. 3.3.

В качестве параметра, определяющего «безопасность» зоны, установлен показатель риска  $R_{ei} \leq 10^{-6}$  чел/год<sup>-1</sup>. Для выполнения расчетов по определению значений риска используются зависимости (3.19, 3.20):

$$R_{ei} = Q_{П} \cdot P_{ПОР}, \quad (3.19)$$

где:

$Q_{П}$  — вероятность реализации пожара на полигоне, приведенная к возникновению на временном интервале в 1 год (частота возникновения негативного события);

$P_{ПОР}$  — вероятность поражения человека.

В том случае, если нарушено условие зоны безопасности и человек находится в зоне действия опасных факторов, производится оценка уровня опасности по критерию риска. Необходимость мероприятий по снижению уровня индивидуального риска в опасных зонах пожара ТБО определяется условием:

$$R_{ei} = Q_{П} \cdot P_{ПОР} < 10^{-6}. \quad (3.20)$$

Описанный алгоритм позволит производить зонирование территорий вокруг полигонов ТБО по критерию риска.

Исходя из материалов апробации, необходимо рассмотреть достаточность санитарно-защитной зоны по принятой в настоящее время классификации.

В качестве второй рекомендации может быть представлено определение удаленности границ вероятных зон поражения ОХВ, образующихся при сгорании твердых бытовых отходов, в зависимости от площади

пожара отходов на полигоне. Для этого рекомендуется использовать полученные графические зависимости (рис. 3.2–3.5).

Согласно СП 165.1325800.2014 [44] территория, расположенная вне зон возможных, в том числе сильных, разрушений, возможного радиоактивного загрязнения, возможного химического заражения, возможного катастрофического затопления и подготовленная для жизнеобеспечения местного и эвакуированного населения, а также для размещения и хранения материальных и культурных ценностей, образует безопасный район. Поэтому при планировании органами управления по делам ГО и ЧС мероприятий гражданской обороны необходимо учитывать территории, попадающие в зону возможного загрязнения токсичными продуктами горения ТБО. Нецелесообразно рассматривать подобные территории как безопасный район.

Данные зависимости могут быть рекомендованы органам управления РСЧС для оперативного решения задач по определению зон вероятного поражения человека, проведения прогнозирования вероятных зон поражения при развитии аварийных сценариев на полигонах ТБО, а также при разработке раздела «Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны. Мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций», проектов реконструкции и рекультивации полигонов ТБО.

Третья рекомендация может иметь место в организации мониторинга и реагировании специальных служб на обстановку, складывающуюся при горении ТБО на полигонах.

С этой целью в период повседневного нормального функционирования полигона ТБО необходимо предусмотреть установку стационарных химических датчиков (газоанализаторов) в пределах полигона, в СЗЗ, а также в населенных пунктах, расположенных вблизи полигона. В качестве таковых можно предложить газоанализаторы серии «Флюорат», «Клен», «Каскад» и пр., позволяющие определять окислы азота, окись углерода, цианистый водород и диоксид серы.

При получении сообщения о возникновении пожара на полигоне ТБО расчет химико-радиометрической лаборатории (ХРЛ) органа управления по делам ГО и ЧС в целях выявления и оценки обстановки должен иметь информацию о площади очага пожара и, исходя из этого, используя графическую зависимость (рис. 3.10), определить, на каком удалении от полигона оптимально производить химический контроль для установления безопасной зоны. Для этого ХРЛ должна быть оснащена газоанализаторами

моделей «АНТ», «КОЛИОН», «ЛИМБ», позволяющими оперативно определять суммарное содержание вредных веществ в воздухе.

Четвертой рекомендацией может послужить приспособление и использование помещений зданий и сооружений для защиты населения, проживающего вблизи полигонов ТБО.

Для этого необходимо заблаговременно выявить и оценить с использованием методического аппарата возможную обстановку на полигоне, представляющем угрозу. В дальнейшем проводится обследование всех помещений, зданий и сооружений. Первостепенное значение имеет правильный выбор помещений внутри здания. При отсутствии конкретных расчетных или справочных данных предпочтение следует отдавать помещениям, расположенным на подветренных и боковых сторонах зданий, с минимальной площадью ограждающих конструкций, выходящих в сторону полигона (рис. 3.7). При выборе помещений для защиты следует ориентироваться на помещения с минимальной удельной площадью оконных и дверных проемов, которые обладают наибольшей герметичностью.

Повышение защитных свойств помещений зданий и сооружений может быть осуществлено путем выполнения таких мероприятий, как: герметизация помещений, заделка оконных и дверных проемов; отключение систем приточной и вытяжной вентиляции; устройство дополнительных фильтров на системах регенерации воздуха. Для примера: только заполнение неплотностей притворов окон и дверей влажной бумагой или лоскутами материала может повысить защищенность укрываемых до 10 раз.

Эксплуатация имеющихся технических систем в помещениях для укрываемых сводится к увеличению эффективной кратности вытяжки за счет:

- использования баллонов со сжатым воздухом для разбавления ОХВ в объеме помещения и создания подпора воздуха;

- установки средств очистки воздуха в системах рециркуляции с целью извлечения ОХВ из внутреннего воздуха;

- уменьшения эффективной кратности «грязного» воздухопритока за счет установки фильтров для очистки подаваемого в помещение воздуха;

- повышения герметичности и объема «буферных» помещений;

- полного отключения вытяжной вентиляции путем перекрытия вентиляционных отверстий (решеток) непосредственно в помещениях.

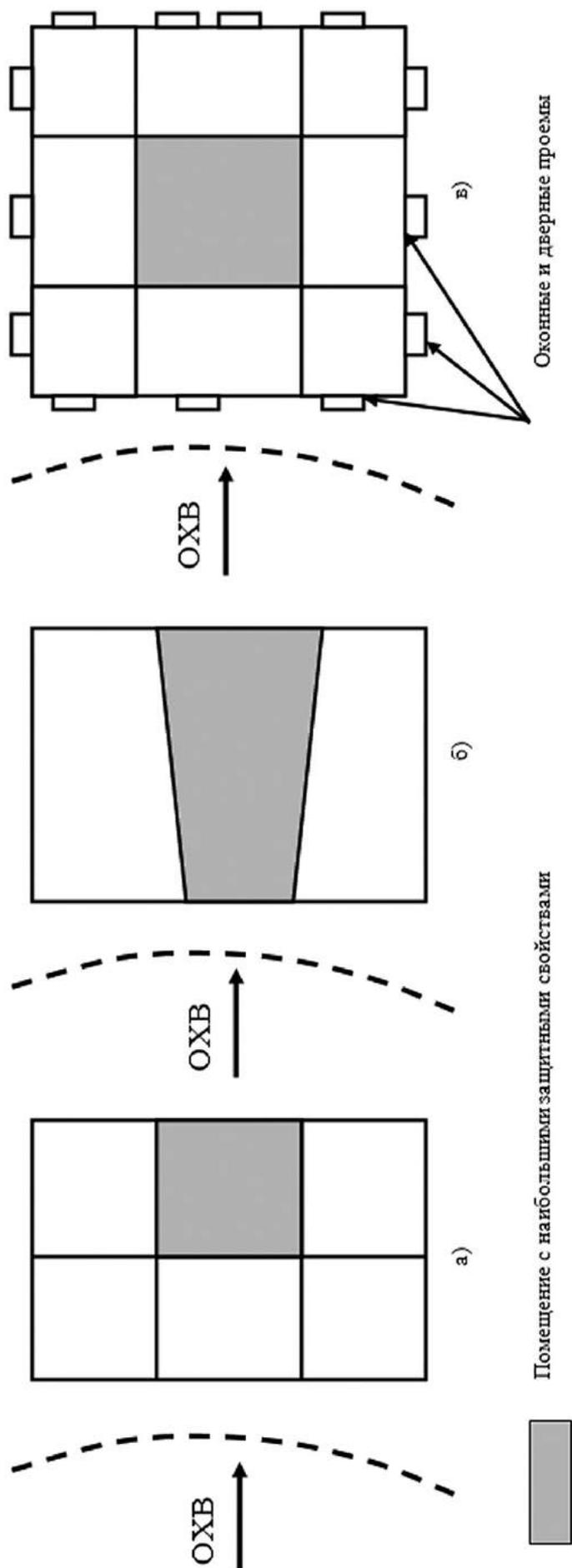


Рис. 3.7. Выбор наиболее эффективных помещений для защиты от ОХВ при авариях на полигонах ТБО:  
 а, б, в — варианты расположения помещений в зданиях и сооружениях (разрез)

В помещениях, не оборудованных механической вентиляцией, в качестве системы рециркуляции воздуха могут быть использованы бытовые пылесосы. Эффективность установленных в них фильтров можно повысить за счет использования в качестве фильтра ткани Петрякова, специальных фильтрующих патронов от противогазов.

Существенно повысить эффективность защиты укрываемых людей позволит использование средств индивидуальной защиты, в том числе простейших, и медицинских средств защиты.

### **3.5. Выводы по главе**

Таким образом, при моделировании процесса распространения продуктов горения ТБО в приземном слое атмосферы была доработана существующая методика «Токси» [59] с использованием вероятностного метода, основанного на применении пробит-функции, позволяющая определять вероятные зоны поражения человека ОХВ, образующиеся при пожарах на полигонах ТБО, реализованная в виде компьютерной программы «Токси ТБО».

Предложен вариант критериев зонирования опасной территории вокруг полигонов твердых бытовых отходов.

В результате полученных расчетов была выявлена зависимость вероятных зон поражения населения ОХВ при определенных условиях от площади горения ТБО на полигоне. Зависимость представлена в виде графиков, при помощи которых можно решать практические задачи по определению зон вероятного поражения человека в зависимости от площади пожара ТБО на полигоне, проводить прогнозирование вероятных зон поражения при развитии аварийных сценариев на полигонах ТБО.

В развитие концепции анализа и управления рисками разработана геоматематическая модель распространения загрязняющих веществ, образующихся при горении ТБО на полигоне. Данная модель предусматривает получение и обработку пространственно-атрибутивной информации, отображение на картографической основе территории вероятных зон поражения человека ОХВ при пожаре на полигоне ТБО, что может являться основой для расчета показателей риска.

Кроме того, разработаны рекомендации по прогнозированию параметров опасных зон для населения вокруг полигонов ТБО и снижению опасности их функционирования.

# Заключение

Проведенное исследование направлено на решение одной из задач повышения безопасности населения, проживающего на урбанизированных территориях.

При его выполнении разработан методический аппарат, позволяющий в реальном масштабе времени органам управления различного уровня: выполнять расчеты по прогнозу значений поражающих факторов при авариях на полигонах твердых бытовых отходов; определять параметры опасных зон, создаваемых вокруг таких объектов; проводить зонирование территорий вокруг полигонов ТБО на основе показателей риска. В ходе исследований выработаны рекомендации по прогнозированию параметров опасных зон для населения вокруг полигонов ТБО, снижению опасности их функционирования.

В результате обобщения результатов проведенного исследования можно сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Для достижения поставленной научной задачи на лабораторной базе ВНИИПО МЧС России проведены экспериментальные исследования по определению показателя токсичности (HCL50) образцов твердых бытовых отходов, который составил  $38 \pm 1,5 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$ , что характеризует ТБО как материал высокоопасный по токсичности продуктов горения. Получены количественные показатели токсичных продуктов (выделены основные компоненты), которые составили: CO — 150 мг/г; CO<sub>2</sub> — 858 мг/г; HCN — 0,093 мг/г; NO<sub>2</sub> — 0,69 мг/г; SO<sub>2</sub> — 0,42 мг/г; C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub> — 0,045 мг/г; C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>O — 0,012 мг/г.

2. Исходя из актуальности решаемой научной задачи разработан методический аппарат обоснования размеров зон поражения человека с использованием пробит-функций, отражающих связь между вероятностью поражения и поглощенной дозой негативного воздействия (токсодозой), посредством реализации программного модуля «Токси ТБО». Опасная зона устанавливается для конкретного вещества, в частности — для оксида углерода, цианистого водорода, диоксида азота и сернистого ангидрида.

## Библиографический список использованных источников

1. Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
2. Федеральный закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ «О радиационной безопасности».
3. Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления».
4. Федеральная программа «Отходы», утв. постановлением Правительства РФ от 13.09.1996 № 1098.
5. Федеральный классификационный каталог отходов, утв. приказом Госкомэкологии России от 27.11.1997 № 527.
6. Постановление Правительства г. Москвы от 27.09.1994 № 860 «О комплексной экологической программе Москвы».
7. Постановление Правительства г. Москвы от 4.04.1995 № 276-ПП «О развитии и реорганизации производственных зон г. Москвы».
8. Постановление Правительства РФ от 21.05.2007 № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» .
9. Постановление Правительства РФ от 24.03.1997 № 334 «О порядке сбора и обмена в Российской Федерации информацией в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
10. Приказ МЧС России от 07.04.1997 № 197 «Положение по разработке, внедрению, эксплуатации и сопровождению функциональных задач автоматизированной информационно-управляющей системы РСЧС».
11. Постановление Правительства г. Москвы от 22.08.2000 № 654 «Концепция безопасности Москвы».
12. Постановление Правительства РФ № 818 от 26.10.2000 «О порядке ведения Государственного кадастра отходов и проведении паспортизации опасных отходов».
13. Постановление Правительства РФ от 30.12.2003 № 794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций».
14. *Акатьев В.А.* Основы теплофизики пожаров и взрывов: Учеб. пособ. М.: ВИА, 1997. 168 с.
15. *Alarie Y.C.* // Ann. Rev. Pharm / and toxicol. 1985. V. 25. P. 325-347.
16. ARCREVIEW. 2003. № 3 (26). 24 с.
17. *Акимов В.А., Новиков В.Д., Радаев Н.Н.* Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски. М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс». 2001. 344 с.

18. *Александрова Т.Д.* Нормирование антропогенно-техногенных нагрузок на ландшафт. Состояние проблемы. Возможности и ограничения // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1990. № 1.
19. *Белицкий В.И.* Методические основы разработки географической информационно-аналитической системы для решения задач органов управления единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций местного уровня: Дисс. канд. техн. наук. М., 2003. 210 с.
20. *Белов П.Г.* Моделирование опасных процессов в техносфере. М.: Изд-во АГЗ МЧС России. 1999. 124 с.
21. *Бехтер А.И., Егоров Л.А.* Статистическое моделирование процессов выполнения военно-инженерных задач: Учеб. пособ. М.: ВИУ, 2000. 156 с.
22. *Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Вагнер П.* Пожарная статистика стран — членов международного технического комитета по предотвращению и тушению пожаров (КТИФ) за 1996 г. // Пожарная безопасность. 1999. № 1. С. 64–73.
23. *Булыгин В.М., Булыгина Е.А., Карнишин А.А.* Оценка токсичности продуктов горения// Пластические массы. 1973. № 8.
24. *Бут Б., Митчел Э.* Начало работы с ArcGIS. М.: Дата+, 1998. 253 с.
25. *Власов А.Г.* Пожарная и экологическая опасность твердых бытовых отходов: Дисс. канд. техн. наук. М., 2001. 202 с.
26. *Воронов С.И.* Методологический подход при создании системы комплексного мониторинга на территории Московской области // Экологические системы и приборы. 1999. № 2.
27. *Воронов С.И.* Экологические проблемы радиоактивного и химического загрязнения крупного промышленного региона и безопасность населения в условиях техногенеза (на примере Московской области): Автореф. дисс. д-ра биол. наук. М., 1999. 50 с.
28. Вредные вещества в промышленности: Справочник для химиков, инженеров и врачей. Изд. 7-е, пер. и доп. В 3-х т. Т. I. Органические вещества / Под ред. засл. деят. науки проф. Н.В. Лазарева и докт. мед. наук Э.Н. Левиной. Л.: Химия, 1976. 592 с.
29. Вредные химические вещества. Неорганические соединения V-VIII групп: Справ. изд. / А.Л. Бандман, Н.В. Волкова, Т.Д. Грехова и др. / Под ред. В.А. Филова и др. Л.: Химия, 1989. 592 с.
30. Временные методические указания по обоснованию ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. № 4681-88, утв. Минздравом СССР 15.06.88.
31. Временные рекомендации по расчету выбросов вредных веществ в атмосферу в результате сгорания на полигонах твердых бытовых отходов и размера предъявляемого иска за загрязнение атмосферного воздуха. Зарегистрировано в Минюсте России 16 ноября 1992 г. Регистрационный № 87 // Сб. нормативных актов по экологическому праву РФ / Под ред. Ерофеева Б.В. М.: Ин-т международного права и экономики, 1995. 318 с.

32. *Fire J.* The impact of dioxin emissions on the population. *Journal of Environmental Problems*. 1984. V. 9, No 4.
33. *Гарин В.М., Кленова И.А., Колесников В.И.* Экология для технических вузов. Серия «Учебники для технических вузов» / Под ред. В.И. Колесникова. Ростов-на-Дону: Феникс, 2001. 384 с.
34. Геоинформационное картографирование. Пространственные данные, цифровые и электронные карты. Общие требования: ГОСТ Р 50828-95. Введ. 07.01.96. М., 1996. 32 с.
35. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.695-98. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест (утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 29 апреля 1998 г. № 14).
36. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
37. *Гороновский И.Т., Назаренко Ю.П., Некряч Е.Ф.* Краткий справочник по химии. Киев: Наукова думка, 1965. 836 с.
38. *Измалков В.И., Измалков А.В.* Техногенная и экологическая безопасность и управление риском. – СПб., НИЦЭБ РАН, 1998. 482 с.
39. *Израэль Ю.А.* Концессия мониторинга состояния биосферы // Мониторинг состояния окружающей среды. Л.: Гидрометеиздат. 1977. № 4. 28 с.
40. *Иличкин В.С.* Токсичность продуктов горения полимерных материалов. Принципы и методы их определения. СПб.: Химия, 1993. 136 с.
41. *Иличкин В.С., Букин А.С., Смирнов В.Л.* Два подхода к определению показателя токсичности продуктов горения комбинированных материалов (сравнение результатов и оценка применимости) // Пожаровзрывобезопасность. 2002. Т. 13. № 4. С.16–20.
42. *Иличкин В.С., Васильев Г.А., Гусев И.В.* Безопасность людей на пожарах: Сб. науч. тр. М.: ВНИИПО, 1979. Вып. 1.
43. *Иличкин В.С., Фукалова А.А.* Токсичность продуктов горения полимерных материалов: Обзор инф. М.: ГИЦ МВД СССР, 1986. 68 с.
44. СП 165.1325800.2014. Инженерно-технические мероприятия по гражданской обороне. Актуализированная редакция СНиП 2.01.51-90.
45. Инструкция по проектированию и эксплуатации полигонов для твердых бытовых отходов. М.: Стройиздат, 1983. 41 с.
46. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов, утв. Минстроем России 02.11.96, согласована с Госкомсанэпинадзором России 10.06.96 № 01-8/1711.
47. *Исаева Л.К.* Возможные подходы к расчету эколого-экономического ущерба, причиняемого пожарами обществу при загрязнении окружающей среды. М.: ВИПТШ МВД СССР. 1989. Деп. в ГИЦ МВД СССР. 29.03.1989. № 403Д.
48. *Исаева Л.К.* Проблемы оценки эколого-экономического ущерба от пожаров // Пробл. безопас. при чрезв. ситуациях. М.: ВИНТИ. 1990. № 2. С. 36–39.

49. *Исаева Л.К.* Экология пожаров, техногенных и природных катастроф: Учеб. пособ. М.: Академия ГПС МВД России, 2001. 301 с.
50. *Исаева Л.К., Власов А.Г.* Вклад твердых бытовых отходов в состояние экологической обстановки Москвы // Экология промышленного производства. М.: ВИМИ. 1995. № 1. С.31–35.
51. *Исаева Л.К., Власов А.Г.* Химическое загрязнение окружающей среды при пожарах твердых бытовых отходов на полигонах и свалках / Межд. науч. конф.: Почвы, отходы производства и потребления. Пробл. охраны и контроля. Пенза, 26-27 мая 1999 // Почвы, отходы производства и потребления: проблемы охраны и контроля: Сб. матер. Пенза, 1999. С. 63–66.
52. *Исаева Л.К., Власов А.Г., Новиков Ю.И.* Эколого-экономический ущерб от загрязнения природной среды при пожарах твердых бытовых отходов. Моск. ин-т пожар. безопас. МВД России. М. 1998. 9 с. Деп. в ВИНТИ РАН, 03.07.98, № 2082-В98.
53. *Исаева Л.К., Серков Б.Б.* Экологические последствия загрязнения воздуха при пожарах в жилых зданиях. // Пробл. безопас. при чрезв. ситуациях. М.: ВИНТИ. 1991. № 2. С. 39–49.
54. Исследования огнестойкости новых судостроительных конструкций, способности распространять пламя по поверхности, негорючести и дымообразующей способности судостроительных материалов, токсичности продуктов горения: Отчет о НИР. Л.: ЛФ ВНИИПО, 1989.
55. *Капралов Е.Г., Яровых В.Б.* (НКЦ «ГеоСфера»). Основные понятия геоинформатики и цифровой картографии // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. 2001. № 5 (32). 72 с.
56. *Ларионов В.И., Цивилев М.П., Овсяник А.И., Попов С.Е.* Теоретические основы реагирования на чрезвычайные ситуации: Учеб.-метод. пособ. М.: ВИА, 1998. 135 с.
57. *Маршалл В.К.* Основные опасности химических производств / Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 672 с., ил.
58. *Мастрюков Б.С.* Безопасность в чрезвычайных ситуациях: Учеб. пособ. Ч. I. М.: МИСиС, 1998. 133 с.
59. Методика оценки последствий химических аварий «Токси». 2-я ред. от 19.11.1998 // В сб. методик. М.: Гостехнадзор РФ. 1999. № 1. С. 5–83.
60. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте: РД 52.04.253-90. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 24 с.
61. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. Л.: Гидрометеиздат, 1987.
62. Методические рекомендации по исследованию канцерогенных свойств химических веществ и биологических продуктов в хронических опытах на животных, утв. Минздравом СССР 09.10.81 № 2453-81.

63. Методические рекомендации по разработке схем зонирования территории городов: МДС 30-1.99. Введ. 16.10.99. М. 35 с.
64. Методические рекомендации по экспериментальному обоснованию гигиенических регламентов химических канцерогенных веществ, утв. Минздравом СССР 08.05.85 № 3864-85.
65. Методические указания «Требования к постановке экспериментальных исследований по обоснованию предельно допустимых концентраций промышленных химических аллергенов в воздухе рабочей зоны и атмосферы», утв. Госкомсанэпиднадзором России 21.10.96 № 1.1.578-96.
66. Методические указания к постановке исследований для обоснования санитарных стандартов вредных веществ в воздухе рабочей зоны, утв. Минздравом СССР 04.04.80 № 2163-80.
67. Методические указания по установлению ориентировочных безопасных уровней воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест, утв. Минздравом СССР 25.11.82 № 2630-82.
68. Методические указания по установлению ориентировочных безопасных уровней воздействия вредных веществ в воздухе рабочей зоны, утв. Минздравом СССР 04.11.85 № 4000-85.
69. Методы определения токсичности и опасности химических веществ. (Токсикометрия.) // Под ред. И.В. Саноцкого. М., 1970.
70. Методы расчета приземных концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе / Э.П. Волков, М.Г. Лысков, Е.И. Фетисова / Под ред. В.Б. Прохорова. М.: Изд-во МЭИ, 1991. 56 с.
71. *Минами М.* ArcMap. Руководство пользователя. Ч. I. М.: Дата+, 1998. 290 с.
72. *Минами М.* ArcMap. Руководство пользователя. Ч. II. М.: Дата+, 1998. 220 с.
73. *Митчелл Э.* Руководство ESRI по ГИС анализу. Т. 1: Географические закономерности и взаимодействия. М.: Дата+, 2001. 190 с.
74. *Наймушина А., Кищинская И.* ArcGIS Desktop. Базовые модули. // ARCREVIEW 2001. № 4(19). 24 с.
75. Научные и технические аспекты охраны окружающей среды // Гл. ред. Ю.М. Арский. М.: ВИНТИ, 1996. № 8. 99 с.
76. Об использовании природных ресурсов и состоянии окружающей природной среды Московской области в 2001 году: Государственный доклад. М.: НИА-Природа, 2002. 279 с.
77. *Овсяник А.И., Белицкий В.И., Чурбанов О.И., Дуганов В.А.* Научно-методические основы разработки географической информационно-аналитической системы для органов управления РСЧС. // ARCREVIEW. 2003. № 3(26). 24 с.
78. *Oettel M., Hoffman H. Th.* // VFDB-Zeitschrift und Technik im Brandschutz. 1968. Bd. 17. No 3.
79. Официальный сайт // [www.mosreg.ru](http://www.mosreg.ru) ИА REGNUM-ВолгаИнформ.
80. *Перегуд Е.А., Гернет Е.В.* Химический анализ воздуха промышленных предприятий. Л.: 1973.

81. Пожары и пожарная безопасность в 1999 г. Статистический сборник. Ч. I. Статистика пожаров и их последствий. М.: ВНИИПО, 2000. 107 с.
82. ГОСТ Р 55201-2012 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Порядок разработки перечня мероприятий по гражданской обороне, мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера при проектировании объектов капитального строительства».
83. Применение географических информационных технологий для комплексной оценки рисков на территориях. // Материалы II Международного симпозиума на тему «Чрезвычайные ситуации. Экологические и техногенные проблемы» (Баку, 8–10 октября 2002 г.) / “R. N. Novguz-94”. Баку, 2002. 602 с.
84. Проведение испытаний материалов на токсичность продуктов горения: Отчет о НИР. ЛФ ВНИИПО. Л., 1983. 51 с.
85. Разработка методических подходов и программного обеспечения для прогнозирования опасных зон ингаляционного воздействия на население в районе ХОО: Отчет о НИР. ВИУ. М., 2003.
86. Разработка проекта методики испытания полимерных материалов на токсичность продуктов горения: Отчет о НИР. ЛФ ВНИИПО. Л., 1983. 84 с.
87. Санитарно-эпидемиологические правила и нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов».
88. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.7.722-98 «Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов».
89. Санитарные правила СП 2.1.7.1038-01 «Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов».
90. *Сохина Э.Н.* Активность территории в системе деятельного подхода к решению проблем природопользования // Проблемы формирования стратегии природопользования. Владивосток, 1991. С. 187–193.
91. Справочное пособие для региональных центров, штабов по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям, химически опасных объектов и учреждений, включенных в сеть наблюдения и лабораторного контроля. Ч. I. М.: «Автор», 1995. 132 с.
92. *Sasse H. R., Einbroot H. J., Prager F. H.* // VFDB-Zeitschrift. 1987. Bd. 36. No 2.
93. *Shen T.T.* Control techniques for gas emissions from hazardous waste landfills. “J. Air Pollut. Contr. Assoc”, 1981, 31, № 2, с. 132–135.
94. Sprucin up a landfill. “Wast Age”, 1981, № 3, с. 42–44.
95. *Sumi K., Tsuchiya Y.* // Proc. Int. Symposium on Flammabil. and Fire Retardants. Toronto 1977. Westport, 1977. P. 24–248.
96. *Урсул А.Д.* Переход России к устойчивому развитию. Ноосферная стратегия. М.: Ноосфера, 1998. 500 с.
97. Toxicity Testing of Fire Effluents: The State of the Art in 1987; Draft Technical Report DP 9122. 1987 / International Organization for Standardization, ISO/TC 92, No 684. ISO/TC92/SC3, No 61.

98. *Tsuchiya Y., Sumi K.* // J. Fire and Flammabil. 1972. No 3. P. 46-50.
99. Химический энциклопедический словарь / Гл. ред. И.Л. Кнунянц. М.: Советская энциклопедия, 1983. 792 с.
100. *Цветков В.Я.* Геоинформационные системы как системы пространственно-локализованных данных. М.: НИИ ИТТ, 1999. 133с.
101. *Чурбанов О.И.* Прогнозирование параметров зон безопасности при авариях на взрывопожароопасных объектах: Дисс. канд. техн. наук. М., 2001. 314 с.
102. *Ширяева Н.* Отходное место. // Профиль. ФГУП Смоленский полиграфический комбинат. 2002. № 32. С. 86–91.
103. Экологическая доктрина Российской Федерации, утв. распоряжением Правительства РФ от 31.08.2002 № 1225-р.
104. Экспериментальные исследования горючести, воспламеняемости, дымообразующей способности и токсичности продуктов горения материалов: Отчет о НИР. ПЛ 2.Д001.83К. ЛФ ВНИИПО. Л.: 1984.
105. *Юфит С.С.* Яды вокруг нас: Цикл лекций. М.: Джеймс, 2001. 400 с.
106. *Дуганов В.А.* Методические основы прогнозирования параметров опасных зон для населения при развитии аварийных сценариев с пожарами на полигонах твердых бытовых отходов (на примере Московской области): Дисс. канд. техн. наук. М., 2004. 198 с.

Для заметок

Для заметок

Для заметок

Монография

О.В. Виноградов, В.Ю. Глебов, В.А. Дуганов

**Основы прогнозирования параметров опасных зон для населения, проживающего вблизи районов размещения полигонов твердых бытовых отходов**

Подписано в печать 23.03.2022. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Объем 7 п. л. Тираж 300 экз. Печать цифровая.

Отпечатано в ФГБУ ВНИ И ГОЧС (ФЦ)  
121353, Москва, ул. Давыдовская, 7.  
Завод № 1. Тираж 25 экз.