

На правах рукописи

**Марова Анастасия Владимировна**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ ОПАСНЫХ  
СИТУАЦИЙ НА ПОЛИГОНЕ «КРАСНЫЙ БОР» И МЕТОДЫ ИХ  
АДАПТАЦИИ НА ОСНОВЕ РИСКОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология (Науки о Земле)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Санкт-Петербург 2010

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Российский государственный гидрометеорологический университет» в Санкт-Петербурге

Научный руководитель:

Доктор технических наук, профессор Музалевский Анатолий Александрович

Официальные оппоненты:

Доктор географических наук Егоров Александр Николаевич

Кандидат географических наук, доцент Дикинис Александр Владиславович

Ведущая организация: Санкт-Петербургский государственный университет

Защита диссертации состоится 22 декабря 2010 г. в 17.00 на заседании Диссертационного совета Д 212.197.03 при Российском государственном гидрометеорологическом университете.

Адрес: 195196, Санкт-Петербург, проспект Metallистов, 3, ауд. 102.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета.

Автореферат разослан 21 ноября 2010 г.

Ученый секретарь

Диссертационного совета Д 212.197.03,

доктор технических наук,

профессор

П.П. Бескид

**Актуальность темы.** На сегодняшний день отмечается крайне неудовлетворительное состояние дел в сфере защищенности населения и окружающей среды на территории Российской Федерации от воздействия опасных химических факторов и существованием связанных с этим положением недопустимых рисков. Серьезность этой ситуации была подчеркнута в Федеральной целевой программе «Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации (2009 – 2013 годы)», утвержденной Правительством Российской Федерации 27 октября 2008 г.

Следует особо отметить, что ФЦП напрямую определяет экологическую ситуацию, в том числе и в сфере обращения опасных отходов, как критическую и чреватую серьезными, причем необратимыми экологическими, санитарно-биологическими, экономическими и социальными проблемами.

Этими положениями Федерального программного документа, а также критическим состоянием в сфере обращения опасных отходов, обусловлена актуальность настоящей работы.

Актуальность связана также с необходимостью выявления, идентификации и последующего упреждения и минимизации угроз, исходящих от внешней среды внутри которой функционирует полигон «Красный Бор». Опасность возникновения на полигоне аварийной ситуации связана не только с возможностью выхода значений параметров на запредельные значения, но и существенного увеличения объема обращения с токсичными отходами, расширения их морфологического состава.

Кроме того, актуальность проведения исследования обусловлена высокой социальной и экологической значимостью решения проблемы утилизации токсичных промышленных отходов, подчеркнутой международными договорами Российской Федерации, рядом постановлений Правительства России, Ленинградской области, Администрации Санкт-Петербурга.

**Объекты исследования:** полигон «Красный Бор», атмосферный воздух, почвы, грунты, поверхностные и подземные воды на прилегающей территории, загрязняющие вещества в компонентах природной среды.

**Предмет исследования:** климатические, физические, географические и геологические характеристики окружающей природной среды, угрозы, исходящие от полигона и внешней среды, сценарии их возможного развития, риски, системы и схемы оценки и управления рисками, связанными с функционированием полигона «Полигона Бор», методы повышения уровня экологической безопасности.

**Основная идея работы** состоит в том, что работоспособная эффективная система идентификации угроз, исходящих от полигона «Красный Бор», их оценка и смягчение

последствий, могут быть созданы в рамках рискологического подхода на основе моделирования сценариев развития событий, использующего новые интеллектуальные подходы и современные представления о риске и методах его оценки и управления.

**Цель работы:** идентифицировать реальные и потенциальные угрозы, обусловленные функционированием полигона «Красный Бор» и создать адекватные уровню ответственности властных структур, методы и технологии их оценки, а также схемы управления рисками, обеспечивающими устойчивое функционирование полигона в условиях нестабильной внешней среды.

**В соответствии с этой целью были сформулированы следующие основные задачи:**

1. Провести анализ геологических, климатических и физико-географических условий внешней по отношению к полигону и прилегающей территории среды, и выявить наиболее существенные факторы, влияющие на устойчивость функционирования полигона, а также экологическую уязвимость, как полигона, так и внешней среды.

2. Предложить концепцию рискологического подхода и сформулировать условия применимости этого подхода к решению задачи по идентификации и оценке уровня угроз, исходящих от полигона «Красный Бор».

3. Разработать сценарии развития аварийных ситуаций и обозначить возможные действия по их предотвращению и смягчению последствий.

4. Выбрать, обосновать и адаптировать в соответствии с поставленной целью варианты риск-менеджмента, обеспечивающего адекватное реагирование на выявленные угрозы, опираясь на модельные представления о характере возможных аварийных ситуаций.

5. Провести оценку и сопоставление рисков, исходящих от полигона «Красный Бор» и внешней среды, на основе применения выбранных методов, дать рекомендации органам, ответственным за проведение экологической политики, по устранению угроз попадания загрязняющих веществ в водную систему Балтийского моря.

Диссертационное исследование базируется на результатах многолетних (2003-2010 гг.) научных и производственных работ диссертанта на специализированных предприятиях города и на полигоне «Красный Бор» в сфере обращения промышленных отходов, а также на отечественном и зарубежном опыте обращения с токсичными отходами.

Работа проводилась в рамках мероприятия 1.1 Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (государственный контракт №02.740.11.0385 от 30 сентября 2009 г.) по направлению «Переработка и утилизация техногенных образований и отходов».

**Научная новизна и значимость исследования:**

- впервые применен рискологический подход к разработке мероприятий по

перспективному управлению экологического состояния полигона «Красный Бор».

- **предложены критерии отбора** группы методов, в том числе новых, способных идентифицировать и оценить риски возникновения аварийных ситуаций на полигоне «Красный Бор»;

- **научно обоснованы и сформулированы** наиболее вероятные сценарии развития аварийных ситуаций на полигоне «Красный Бор».

**Достоверность научных положений выводов и рекомендаций обеспечивается:**

Корректностью аналитических и численных методов исследований, в том числе натурных, наличием полученных результатов и показателей, допускающих сравнение и сопоставление с другими независимыми методами и существующими схемами и системами оценки и управления рисками, положительными результатами проверки предложенных решений.

**Методы исследований.** Общей методологической основой работы является рискологический подход, включающий элементы теории риска, логистики, экологического и математического моделирования, а также анализ и обобщение опыта работ в области обращения с опасными отходами, а также натурные и социологические исследования.

**Практическая ценность результатов исследования заключается в следующем:**

- разработаны возможные сценарии возникновения и развития аварийных ситуаций для операторов полигона «Красный Бор»;

- для систем принятия решений предложены специальные таблицы, позволяющие идентифицировать нужную ситуацию и принять меры по смягчению ее последствий;

- для природоохранной деятельности разработаны рекомендации по общей схеме и организационной структуре системы управления функционированием объекта «Красный Бор», прошедшие апробацию на практике.

**На защиту выносятся следующие научные положения и основные результаты исследований:**

1. Результаты анализа геологических, климатических и физико-географических условий внешней по отношению к полигону и прилегающей территории среды и перечень наиболее существенных факторов, влияющих на устойчивость функционирования полигона, а также факторы экологической уязвимости, как полигона, так и внешней среды.

2. Концепция подхода, применимая к идентификации, оценке и управлению рисками, исходящими от полигона «Красный Бор».

3. Сценарии развития аварийных ситуаций с одновременной идентификацией возникающих угроз и регламентом реагирования на них.

4. Результаты анализа и последующего отбора методов и схем оценки рисков,

обеспечивающих эффективный риск-менеджмент как полигона, прилегающей территории, так и здоровья населения, проживающего вблизи от объекта.

5. Результаты оценок рисков, полученных разными методами, их сопоставление и рекомендации органам, ответственным за проведение экологической политики, по устранению угроз попадания загрязняющих веществ в водную систему Балтийского моря.

**Реализация работы:**

- при участии автора настоящей работы проведено внедрение разработанных материалов в практику управленческих структур полигона «Красный Бор»;
- материалы диссертации использованы при разработке отдельных тем лекций по экологической безопасности и экологическому риску для студентов РГГМУ.

**Личный вклад автора:**

- постановка задач и разработка методов их решения;
- разработка сценариев развития нежелательных событий и их последствий;
- разработка системы управления в режиме аварийной ситуации, обеспечивающая устойчивое и экологически безопасное функционирование полигона «Красный Бор».

**Апробация работы:** В полном объеме диссертация докладывалась в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Российский государственный гидрометеорологический университет» (Санкт-Петербург) и в органах государственной и муниципальной власти Санкт-Петербурга, ответственных за проведение экологической политики.

**Публикации:** Основное содержание диссертации опубликовано автором в 16 научных работах (1 научная работа опубликована в журнале, рекомендованном ВАК).

**Объем и структура работы:** диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и выводов; изложена на 172 страницах машинописного текста, содержит 42 рисунка, 43 таблицы и список литературы из 89 наименований, 10 из которых на иностранных языках.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, изложены научная новизна и практическая ценность работы, основные положения и результаты исследований, выносимые на защиту.

**В первой главе** проанализированы физико-географические, геологические и гидрологические особенности характеристик внешней среды района полигона «Красный Бор» и прилегающих территорий (рисунки 1 и 2).

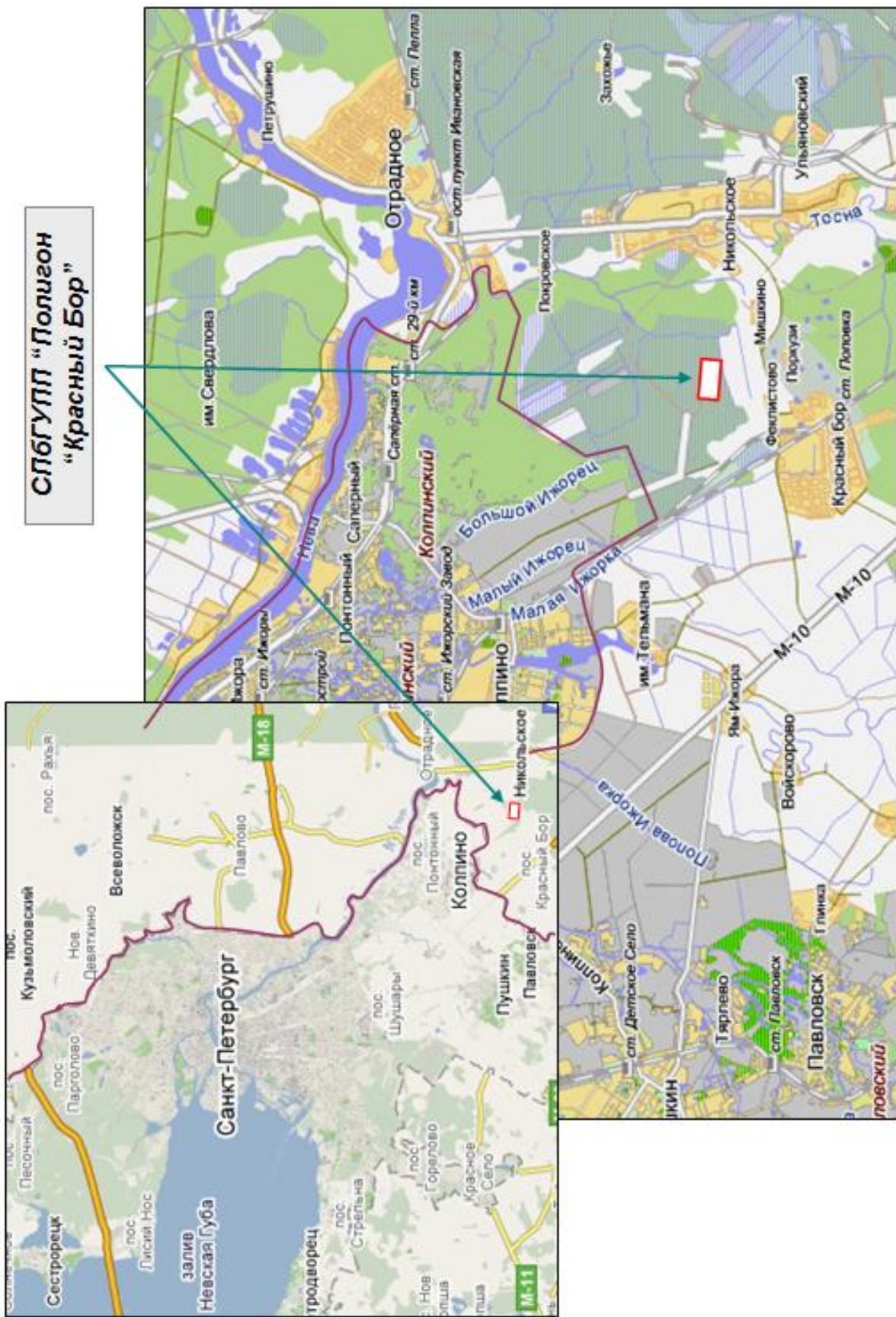


Рисунок 1 – Схема расположения полигона захоронения высокотоксичных промышленных отходов «Красный Бор»

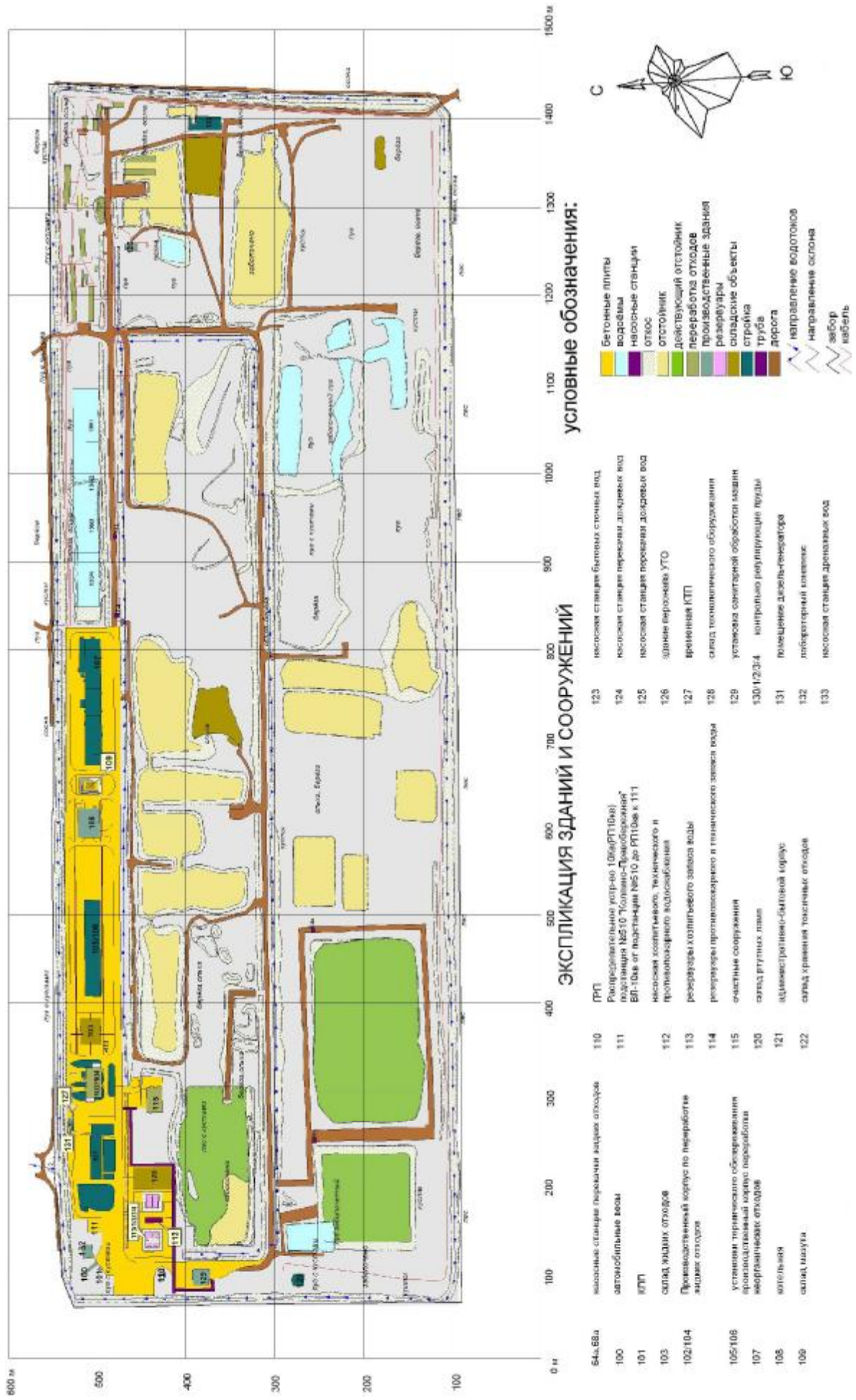


Рисунок 2 – План-схема полигона по захоронению высокотоксичных промышленных отходов «Красный Бор»



Полигон «Красный Бор» расположен на территории площадью 60 га в 2 км к северу от поселка Красный Бор, в 4.5 км к юго-востоку от города Колпино и в 30 км от Санкт-Петербурга.

Основной операцией по изоляции опасных отходов от природной среды на полигоне служит захоронение смешанных твердых, пастообразных и жидких отходов в котлованах (картах), отрываемых в массиве кембрийской глины. По мере заполнения карты перекрываются водонепроницаемым слоем глины. В целях предотвращения стока загрязненных вод на прилегающую площадь территория полигона обвалована, а высотные отметки понижаются от периферии к центру. По внешнему контуру полигона проведен кольцевой канал для перехвата поверхностных и грунтовых вод с окружающих полигон территорий.

Количество накопленных на полигоне «Красный Бор» за весь период его эксплуатации промышленных отходов, по различным оценкам, составляет от 1.8 до 2.0 млн. тонн.

**Анализ климатических особенностей района расположения полигона «Красный Бор».** Район полигона относится к атлантико-арктической зоне умеренного пояса и характеризуется избыточным увлажнением. Атмосферных осадков в среднем за год выпадает 693 мм, причем распределение их в течение года крайне неравномерно. Наибольшее количество осадков выпадает в теплое время года (июнь-сентябрь) с максимумом в августе (89 мм). В зимнее время в районе Красного Бора образуется устойчивый снежный покров с первой декады декабря до середины апреля. Колебания в датах установления и схода, снежного покрова составляет 6-7 недель. Высота снежного покрова к концу зимы достигает в среднем около 40 см. Максимальная глубина промерзания почвы характерна для февраля-марта и может достигать 56-60 см.

**Гидрографические особенности района расположения полигона «Красный Бор».** Гидрографическая сеть вблизи полигона развита слабо. Систематические наблюдения за гидрологическим режимом в районе полигона «Красный Бор» не проводятся. В наличии имеются лишь данные, полученные расчетным путем проектными организациями в период строительства полигона (рисунок 3, таблицы 1 и 2) и данные полевых работ, выполненных с участием диссертанта специалистами Российского государственного гидрометеорологического университета (РГГМУ) в период 2003 – 2007 гг.

Водный режим рек в районе полигона в целом соответствует общему характеру формирования стока водотоков Северо-западного региона (высокое половодье, формирующееся в период таяния снега, летняя и зимняя межень, осенние паводки).

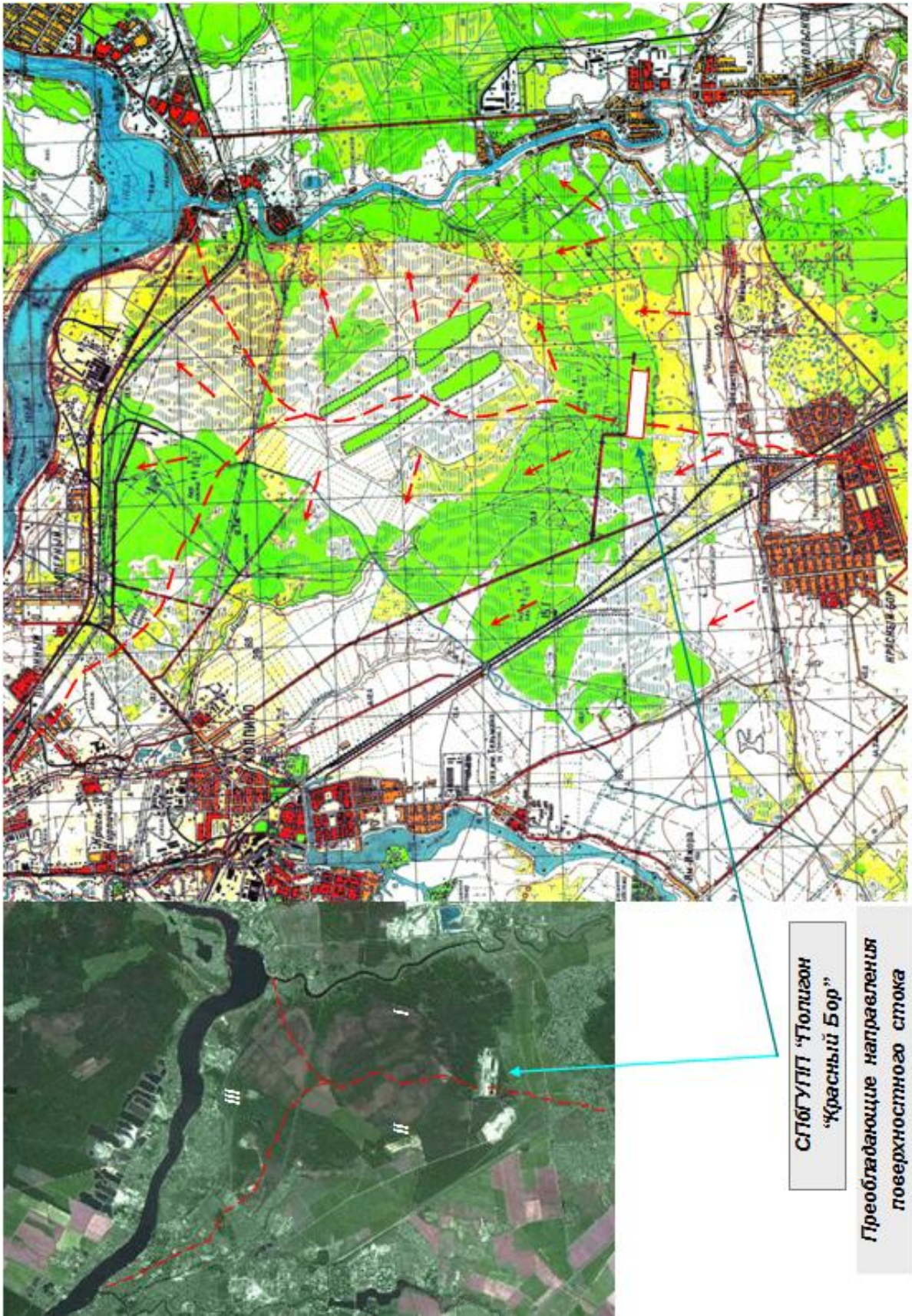


Рисунок 3 – Гидрографическая сеть в районе расположения полигона «Красный Бор»

Стокообразующая площадь полигона, представляет собой склон со слабо выраженными формами микрорельефа, определяющими интенсивность стока высоких вод (половодье, дождевые паводки). Размер активной водосборной площади составляет порядка 15 га. В таблице 1 представлены значения годового стока и объема стока талых вод с территории полигона, а также сток в кольцевой канал.

Таблица 1 – Суммарный и грунтовый годовой сток в кольцевой канал и объемы пополнения карт за счет осадков

Сток, тыс. м <sup>3</sup>	Расчетная обеспеченность, %						
	1	5	10	25	50	75	95
Суммарный сток с полигона	448	380	291	291	246	193	140
Приток с карты жидких отходов	114	96.1	73.6	73.6	62.4	48.9	35.5
Грунтовый сток в карты	87.5	52.5	30.1	30.1	14.3	7.4	5.6

За период наблюдений наибольшая высота снежного покрова была зафиксирована в 2004 г. в лесу – 66 см, также как и максимальный запас воды в снеге – 80 мм, что соответствует среднестатистическим значениям мощности снежного покрова (в снежную зиму) в районе полигона ( $\approx 1$  м).

В таблице 2 приведены значения, характеризующие величину повышения уровня воды в картах за период таяния снега.

Таблица 2 – Величины повышения уровня вод в картах за период таяния снега

Характеристики	Расчетная обеспеченность, %						
	1	5	10	25	50	75	95
Снегозапас, мм	200	155	135	100	80	50	15
Объем стока, тыс. м <sup>3</sup>	77.7	60.2	52.4	38.8	1	19.4	5.8
Объем грунтового стока, тыс. м <sup>3</sup>	27	18	15	8	1.5	2.1	1.6
Повышение уровня жидкости в картах, см	19.6	15.2	13.2	9.8	2.8	4.9	1.4

В переходные периоды года (весенний и осенний) значительную опасность представляет образование в дренажных каналах объекта наледей, которые могут затруднить эффективность водоотведения. При этом необходимо отметить, что в случае возникновения нештатной ситуации, требующей срочного сброса воды с территории полигона, кольцевой канал может быть использован как временная аккумулирующая емкость. Все вышеперечисленные меры обеспечивают достаточно эффективную защиту объекта от паводков. Тем не менее, нахождение полигона захоронения высокотоксичных промышленных отходов в 4-5 км от р. Невы выше по течению от водозаборов, обеспечивающих питьевой водой население Санкт-Петербурга, создает постоянную угрозу

катастрофического загрязнения ее вод токсичными веществами, как в случае возникновения экстремальных паводков (сопряженных с выпадением интенсивных осадков), так и нарушения герметичности стенок или дна хранилищ токсичных отходов и просачивания растворенных токсических веществ к руслу реки.

**Геологические и гидрогеологические особенности района полигона.** Геологическое строение района полигона от поверхности до глубины 200 м характеризуется комплексом осадочных пород четвертичного и нижнекембрийского возраста, среди которых преобладают глинистые водоупорные разности. Водоносные горизонты представлены маломощными песчаными отложениями, в числе которых а) приповерхностные озерно-ледниковые песчаные отложения, б) моренные суглинки, в) лонтоваская свита, г) ломоносовская свита. Последняя залегает в подошве кембрийских глин, к ней приурочен хорошо выдержанный горизонт подземных вод, используемых для водоснабжения. Ломоносовский водоносный горизонт имеет большое практическое значение для территории, расположенной вдоль южного побережья Финского залива, где является единственным источником пресных подземных вод.

**Во второй главе** представлена концепция рискологического подхода. Сформулированы базовые положения, определен ряд терминов и даны толкования их смыслового содержания.

Отмечено, что полигон «Красный Бор» – это геотехническая система, которая может рассматриваться как совокупность природных и искусственно созданных элементов, технических сооружений, находящихся в тесной взаимосвязи и взаимозависимости за счет обмена веществом, энергией и информацией. При этом сама геотехническая система может функционировать только потому, что существует внешнее управление.

Понятие «риск» трактуется в работе как вероятность того, что то или иное вещество или ситуация под воздействием определенных условий перейдут в категорию опасных. Относительно *экологического риска* нами принято часто встречающееся на практике определение. Это значит, что он может быть оценен, например, методами экспертных оценок или матриц риска с использованием процедур обработки не числовой информации, основанной на расширении понятия шкал измерений.

В работе термин «*экологическая безопасность*» связывается как с человеком, так и с окружающей средой. Иначе говоря, наш объект исследования необходимо моделировать. Геотехническая система по существу и является такой моделью. В традиционных подходах оценку уровня экологической безопасности можно провести только приблизительно. Более точно количественно это можно сделать в рамках индикаторно-рискологического подхода.

Современные разработки в области управления рисками, относящихся к сфере обращения опасных отходов можно разделить на две принципиально различающиеся группы:

**К первой группе** относятся собственно технологии обработки, обезвреживания, захоронения и уничтожения опасных отходов. **Вторая группа** включает в себя инструменты управления движением опасных отходов (до финальной точки их нейтрализации – захоронения/уничтожения или же полного обезвреживания/рециклинга). В число таких инструментов входят как разработки в области логистики, так и математические/статистические модели, которые, в свою очередь могут быть компьютеризованы.

Для выбора технологических решений для нейтрализации опасных отходов рассмотрена принципиальная (базисная) структура классификации технологий обезвреживания опасных отходов, представленная в таблице 3.

Таблица 3 – Классификация основных технологий обезвреживания опасных отходов

Физико-химические процессы	Нейтрализация (обезвреживание и перевод в химически стабильную форму)
	Обезвоживание
	Извлечение (выпаривание) из почвы
	Промывка почвы
	Адсорбция, в том числе, углем
	Очистка паром
	Сверхкритические потоки жидкости
	Мембранные процессы
Биологические методы	Химическая оксидация (окисление)
	Биовосстановление (биоремедиация) с вывозом и без вывоза
Технологии стабилизации и отвердения	Биологическая очистка (осаждение)
	Макроинкапсуляция (покрытие, заключение в оболочку)
	Микроинкапсуляция
Термические методы	Стеклование
	Инсинерация (сжигание)
	Пиролиз
Захоронение	Пирометаллургическая обработка
	Полигоны и площадки отходов

Сам процесс выбора технологии контроля над опасными отходами базируется на трех ключевых критериях:

- *Природа отходов.* Физическое состояние того или иного вида отходов (жидкость, эмульсия, суспензия, шлам, порошок, твердые блоки и т.д.).

- *Возможности для обезвреживания.* Доступность таких возможностей, текущие и будущие нужды, цели обезвреживания, эффективность и надежность конкретной технологии для решения конкретной задачи.
- *Технологическая адекватность.* Использование однонаправленных или комбинированных технологий, необходимость в предварительной обработке или отсутствие такой необходимости, чувствительность технологии к изменениям ситуации или вредного агента (гибкость), ее потенциал в плане модификации.

Далее в этой главе приведен анализ 14 методов оценки и управления рисками с точки зрения возможности их применения к объекту «Красный Бор». Их анализ подтвердил возможность реализации на практике рискологического подхода.

В последние годы в управлении движением опасных отходов стали все чаще применяться логистические и модельные подходы к управлению движением опасных отходов. Анализ разработок в области логистики и моделирования показал, что моделирование не обязательно должно быть численным (математическим или статистическим). Успешных результатов можно (и нужно) добиваться и в моделировании аналоговом (в данном случае в широком смысле этого понятия – т.е. воспроизводящем требуемые условия в других средах или масштабах).

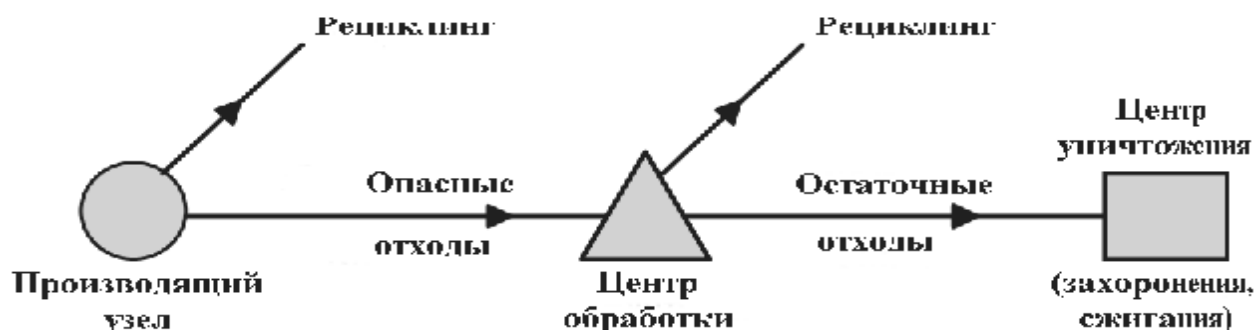


Рисунок 4 – Схема управления опасными отходами

Проблемная цепочка системы управления опасными отходами (рисунок 4) начинается с производящего узла, затем нерезицированные количества этих отходов направляются на центр обработки с совместимой для данных отходов технологией, локализация которого должна быть рассчитана моделью. После процесса обработки всё еще остающиеся нерезицированные количества опасных отходов направляются в центр уничтожения. Его локализацию также рассчитывает модель.

Обычно проблема управления опасными отходами решается в два последовательных шага. *На первом* шаге определяется оптимальная локализация предполагаемых

(проектируемых) центров обработки и уничтожения, т.е. где им быть. **На втором** шаге определяется оптимальная стратегия транспортировки (маршрут) при уже зафиксированной локализации. Однако расположение центров обработки и уничтожения влияет и на риск транспортировки, и на транспортные расходы. Поэтому, если задачи локализации и маршрутизации решать *одновременно и параллельно*, результирующие решения оказываются значительно более эффективными, чем пошаговый подход, причем как с точки зрения затрат, так и минимизации риска.

**Третья глава** начинается с анализа современных методов риск-менеджмента в сфере обращения с опасными отходами. Очень важным событием в этом плане стал выход в 2009 г. международного стандарта ISO/DIS 31000 (2009) «*Risk management – Principles and guidelines on implementation*» («Риск-менеджмент – Принципы и указания к применению»). Согласно этому стандарту: «Риск-менеджмент – это идентификация, оценка и определение приоритетности рисков».

Последовательность элементов здесь очень существенна, как существенно и наличие каждого из них. Стратегии риск-менеджмента включают в себя: а) *трансфер* (перенос) *риска* на другой субъект (предприятие, страховую компанию, государство, группы населения), б) *устранение риска*, в) *минимизацию риска*, г) *согласие принять последствия* какого-то конкретного риска.

Очень серьезную проблему представляют собой ситуации, где наличествуют *многофакторные риски*, особенно если какие-то из них представляют собой противоположность других. В этих случаях определение приоритетности рисков становится ключевой задачей для лиц, принимающих решения.

Следует различать оценку (научно обоснованную) риска и восприятие (по ГОСТ Р 51897-2002 «осознание») риска как лицами, могущими подвергаться риску, так и лицами, занимающимися обращением опасных отходов и в еще большей степени законодателями и лицами или органами, принимающими решения.

Сложная проблема множественных (многофакторных) рисков может быть решена с помощью методики COP – сравнительной оценки рисков (*CRA – Comparative Risk Assessment*). По сути, методика COP представляет собой «сравнение и определение приоритетов рисков». В ситуации серьезных многофакторных рисков COP может оказаться единственным более или менее надежным решением.

Применительно к теме диссертации очень важно ответить на вопрос, каким образом минимизировать риски на отдельном предприятии (группе предприятий)? В самом общем виде ответ очевиден: путем экологизации производства.

В экологизации производства выделяют два основных направления: а) технологии по очистке выходных компонентов от опасных примесей (экстенсивный подход); б) экологически чистые технологии (интенсивный подход). Первые относятся к т.н. технологиям «конца трубы». Второе направление экологизации заключается в предупреждении негативного действия не путем устранения следствия (ликвидации опасных отходов), а путем устранения причины (несовершенство производственных технологий).

Вывод таков: минимизация рисков при обращении опасных отходов невозможна без комплексного интегрального подхода к проблеме отходов в целом.

Для решения проблемы минимизации рисков в обращении с опасными отходами необходима разработка динамически обновляемых информационных (компьютерных) моделей, позволяющих отслеживать движение (потоки) таких отходов. В качестве отправной точки мы воспользовались компьютеризованной американской моделью *ACEHWC* (*Assessment of Chemical Exposure for Hazardous Waste Combustion Facilities* – Оценка риска подверженности влиянию химикатов для установок сжигания опасных отходов), адаптировав ее к условиям нашей задачи.

Модель проводит следующие расчеты: а) концентрации токсических веществ в воздухе (с составлением карт); б) концентрации токсических веществ в других средах (вода, почва); в) доз этих же токсинов, которые могут попасть в человеческий организм как прямым, так и непрямым (потребление воды и сельхозпродуктов из зоны заражения); г) расчет риска для здоровья. Для обеспечения жизнеспособности этой модели в применении к полигону «Красный Бор» необходимо в программе по минимизации рисков обращения опасных отходов создать свою базу данных, где отходы были бы классифицированы по физико-химическим свойствам и степени опасности.

После этого для оценки риска на качественном и полуколичественном уровнях необходимо введение понятий измерительных шкал. В работе рассматриваются следующие варианты таких шкал:

1. Номинальная шкала измерений. В этой шкале предполагается следующее деление на шкале наименований в смысле оценки тяжести последствий: **нулевая, исключительно слабая, очень слабая, слабая, средняя, сильная, очень сильная, исключительно сильная, предельно сильная**. Здесь термины «очень» и «исключительно» и т.п. являются усиливающими основные понятия психофизическими операторами.

2. Следующей шкалой для оценки риска является шкала порядка. При количественной оценке значимости риска примером может служить следующая ранжировка, таблица 4, оцененная в большой шкале, при этом меньший балл предполагает меньшую интенсивность и меньшую степень опасности события.



Таблица 4 – Шкала оценок значимости риска

Лингвистическая переменная	Балл
Нулевая	1
Исключительно слабая	2
Очень слабая	3
Слабая	4
Средняя	5
Сильная	6
Очень сильная	7
Исключительно сильная	8
Предельно сильная	9

3. Третьим методом измерения декларируемой репрезентативной теории является шкала интервалов. Ценой деления и началом отсчета в данном случае может быть любая величина как числовой, так и не числовой природы.

4. Четвертой и наиболее привычной шкалой измерения является абсолютная шкала. Такой подход используется для описания качественных и количественных связей между заданными признаками.

Применительно к задаче оценки экологических рисков возникновения природно-техногенных аварий в районе полигона «Красный Бор», следует полагаться на два положения:

1) информационными объектами о текущем состоянии полигона и его эволюции являются формальные документы – отчеты служб полигона, которые могут быть обобщены и оценены с позиций их информационной емкости как качественно, так и количественно;

2) целесообразно развивать направление, оптимизирующее процедуру экологического мониторинга территорий, сопредельных полигону «Красный Бор», дополнив их результатами социологических обследований населения, проживающего в зоне воздействия потенциальной аварии в районе полигона и непосредственно на самом объекте.

**В четвертой главе** в качестве базовых были приняты сценарии возможного развития чрезвычайных (аварийных) ситуаций, отраженные на рисунке 5 и в таблице 5.

Развитие возможных чрезвычайных (аварийных) ситуаций может быть классифицировано по двум основным направлениям:

1. Залповые выбросы – кратковременные интенсивные выбросы загрязняющих веществ, вызванные причинами техногенного (антропогенного) характера или катастрофическими природными явлениями редкой повторяемости.

2. Продолжительное воздействие полигона на природную среду – непрерывное растянутое во времени негативное воздействие полигона на природную среду, обусловленное постоянно протекающими процессами фильтрации, испарения токсичных веществ. Действие процессов носит постоянный характер и в целом зависит от времени года.



Рисунок 5 – Графическая схема основных сценариев возможного развития чрезвычайных (аварийных) ситуаций на полигоне «Красный Бор»

Таблица 5 – Типы чрезвычайных ситуаций

№ сценария	Тип чрезвычайной ситуации
1.	Перелив содержимого карт-хранилищ отходов через верхнюю кромку обваловки
2.	Разрушение обваловки карт-хранилищ отходов
3.	Подземная фильтрация загрязнений из карт-хранилищ отходов
4.	Попадание загрязненного поверхностного стока с территории полигона в гидрографическую сеть района
5.	Попадание загрязняющих веществ в окружающую природную среду за счет атмосферных переносов
6.	Попадание загрязняющих веществ в окружающую природную среду при возникновении очага возгорания
7.	Попадание загрязняющих веществ в окружающую природную среду за счет экстремальных метеорологических явлений (смерчи, ураганы, шквалы)
8.	Попадание загрязняющих веществ на водосбор р. Нева вследствие аварии при их транспортировке на полигон

На рисунке 5 представлена графическая схема основных сценариев возможного формирования чрезвычайных (аварийных) ситуаций. Как видно, к развитию ситуации по указанным выше сценариям, может привести следующий набор природных и техногенных процессов и явлений: а) редкие природные катастрофические явления; б) продолжительные (частые) природные явления, в) техногенные процессы.

При этом перемещение токсикантов от источников в компоненты природной среды может происходить несколькими путями (воздушным, водным, подземным) как отдельно (варианты А, Б и В), так и в некоторых комбинациях (вариант Д). Следует отметить, что к реализации сценариев одного типа могут приводить различные сочетания событий или факторов.

С целью идентификации угроз возникновения катастрофической паводковой ситуации в районе рассмотрены климатические и погодные особенности, обуславливающие интенсивность и объем осадков, выпадающих на стокообразующую площадь полигона, а также анализ тенденции изменения количества осадков в районе полигона за период с 1970 по 2007 год. Выявлено, что возможность подтопления территории полигона «Красный Бор» и последующая миграция токсикантов талыми водами маловероятна при условии поддержания рабочего состояния обводных каналов с устранением возможного образования наледей и «пробок» в дренажной системе полигона. Значительную опасность и риск формирования катастрофического паводка могут представлять в этом случае экстремумы осадков (более 150 мм за 2-4 суток) и поверхностный сток, образующийся непосредственно внутри контура полигона.

При разработке сценариев развития аварийных ситуаций, связанных с возможным попаданием загрязняющих веществ в водную систему Балтийского моря были рассмотрены различные факторы и характеристики процессов, влияющих на их развитие. Набор возможных сценарных условий развития аварийных ситуаций, связанных с попаданием загрязняющих веществ в водную систему Балтийского моря, таблица 6.

Таблица 6 – Набор сценарных условий развития аварийных ситуаций, связанных с попаданием загрязняющих веществ в водную систему Балтийского моря

Тип аварийной ситуации	Масштаб (объем) аварии	Время аварии (период года)	
<b>Сценарий 1. Перелив содержимого карт-хранилищ отходов через верхнюю кромку обваловки</b>			
Залповый	Малый объем	Весенний период	
		Летний период	
		Осенний период	
	Средний объем	Весенний период	
	Максимально возможный объем	Осенний период	
Продолжительный (в течение 12 часов)	Малый объем	Весенний период	
		Летний период	
		Осенний период	
	Средний объем	Весенний период	
	Максимально возможный объем	Осенний период	
<b>Сценарий 2. Разрушение обваловки карт-хранилищ отходов</b>			
Залповый	Малый объем	Весенний период	В любой период (техногенные или антропогенные причины)
		Осенний период	
	Средний объем	Весенний период (природные причины)	
Максимально возможный объем			
<b>Сценарий 3. Подземная фильтрация воды из карт-хранилищ отходов</b>			
Залповый (в случае тектонических нарушений)	Максимально возможный объем	Осенний период	
Продолжительный (в некоторых случаях долговременный)	Малый объем	В любой период	
<b>Сценарий 4. Попадание загрязненного поверхностного стока с территории полигона в гидрографическую сеть района</b>			
Продолжительный	Малый объем	В любой период	
	Средний объем	Весенний период	
	Максимально возможный объем	Осенний период	

Тип аварийной ситуации	Масштаб (объем) аварии	Время аварии (период года)	
<b>Сценарий 5. Попадание загрязняющих веществ в окружающую природную среду за счет атмосферных переносов</b>			
Продолжительный	Малый объем	Летний период (природные причины)	В любой период (техногенные причины)
<b>Сценарий 6. Попадание загрязняющих веществ в окружающую природную среду за счет экстремальных метеорологических явлений (смерчи, ураганы)</b>			
Залповый	Малый объем	Весенний период	
		Летний период	
		Осенний период	
	Средний объем	Летний период	
	Максимально возможный объем	Летний период	
<b>Сценарий 7. Попадание загрязняющих веществ на водосбор р. Нева вследствие аварии при их транспортировке на полигон</b>			
Залповый	Малый объем	В любой период	
	Средний объем	Весенний период	
		Осенний период	
<b>Сценарий 8. Возникновение аварийной ситуации при обращении с отходами на полигоне «Красный Бор»</b>			
Залповый	Малый объем	В любой период	
	Средний объем		
<b>Сценарий 9. Иные виды аварийных ситуаций (внешние воздействия различной природы)</b>			
Залповый	Малый объем	В любой период	
	Средний объем		
	Максимально возможный объем		

В картах-хранилищах, в основном, захораниваются две группы отходов. Первая группа отходов: отходы гальванических производств, растворы и взвеси, подвергающиеся каскадному методу переработки (взаимной нейтрализации и отстаиванию). Вторую группу составляют органические отходы.

Основные зоны поступления токсичных веществ в водную систему Балтийского моря следующие (по мере прохождения от источника загрязнения до акватории Балтийского моря): а) водосборная площадь р. Нева (условия должны учитываться для всех сценарных условий); б) среднее течение р. Невы; в) дельта р. Невы; г) Невская губа; д) Финский залив.

Для определения степени поступления загрязнителей на акваторию р. Нева были выполнены соответствующие расчеты. В качестве примера результаты расчета концентраций загрязняющих веществ в расчетных замыкающих створах выбранных участков представлены в таблице 7. Видно, что даже при реализации сценария 1 в среднем и нижнем течении р. Невы сформируется катастрофическая ситуация, характеризующаяся многократным превышением ПДК большинства загрязняющих веществ. Из расчетов также следует, что распространение аварийных выбросов с полигона «Красный Бор» в акваторию Финского залива в значимых концентрациях, превышающих допустимые, маловероятно. В тоже время существует возможность возникновения других сценариев, которые при определенном сочетании

условий могут нести существенную угрозу попадания значительного объема загрязнений в окружающую природную среду.

Таблица 7 – Концентрации загрязняющих веществ в створе р. Нева – д. Новосаратовка (мг/л) при аварийном сбросе с полигона «Красный Бор»

Ингредиент	Концентрация		Концентрация		
	в аварийном сбросе	ПДК	в замыкающем створе		
			сценарий 1	сценарий 2 <sub>1</sub>	сценарий 2 <sub>2</sub>
Фенолы	1 185	0.001	0.38	0.50	0.82
Нефтепродукты	843	0.05	0.34	0.43	0.66
СПАВ	58.1	0.1	0.03	0.03	0.05
ХПК	12 000	21.8 (фон)	30.50	31.70	35.00
Циклогексанол	5 397	0.5	1.69	2.25	3.74
Полиароматические углеводороды	358.3	0.004	0.11	0.15	0.25
Терпены	368	–	0.12	0.15	0.26
Комплекс органических соединений	5 500	–	1.72	2.29	3.81

По указанным выше основным сценарным положениям и условиям была выполнена численная оценка рисков на основе формализации экспертных заключений.

Сначала выделены компоненты (прописаны в таблице 8), оценки по которым наиболее комплексно отражают основные параметры развития чрезвычайных (аварийных) ситуаций применительно к полигону «Красный Бор». Все вышеперечисленные компоненты носят нечёткий характер и могут быть оценены только по номинальной и порядковой шкале.

Далее была проведена формальная оценка комбинаций возможных ситуаций, величина которых оценивалась в балльных шкалах. В конце процесса был выполнен статистический анализ, который заключался в построении плотности распределения векторов и интегральной кривой обеспеченности величины риска с последующей идентификацией породивших моду распределения компонентов векторов, комбинации которых являются наиболее опасными для рассматриваемой геотехнической системы.

*Концепция интеллектуальной системы принятия управленческих решений* в области рисков в нашем случае базируется на принципах прямого нейро-адаптивного мониторинга экологического состояния окружающей среды. Текущее состояние полигона «Красный Бор» оценивается по принятым экспертным параметрам, которые наиболее комплексно отражают основные параметры развития наиболее вероятных аварийных (чрезвычайных) ситуаций.

Таблица 8 – Описание и численные значения выделенных компонентов, определяющих численную оценку риска

<b>Оценка вероятности события</b>	
1	Наступление события маловероятно, или вероятность его наступления составляет не более $10^{-3}$ - $10^{-2}$ раз в год (не более 1 раза в 100 лет)
2	Наступление события недостаточно вероятно, или вероятность его наступления составляет $10^{-2}$ - $2*10^{-2}$ раз в год (не более 1 раза в 50-100 лет)
3	Наступление события вероятно, или вероятность его наступления составляет $2*10^{-2}$ - $10^{-1}$ раз в год (не более 1 раза в 10-50 лет)
4	Наступление события достаточно вероятно, или вероятность его наступления составляет $10^{-1}$ - $4*10^{-1}$ раз в год (не более 1 раза в период 3-10 лет)
5	Наступление события крайне вероятно, или вероятность его наступления составляет $5*10^{-1}$ - $10^0$ раз в год (не более 1 раза в 1-2 года)
6	Наступление события неизбежно, или вероятность его наступления составляет $10^0$ - $10^1$ раз в год (1 и более раз в год)
7	Наступление события неизбежно с высокой повторяемостью, или вероятность его наступления составляет более $10^1$ раз в год (более 10 раз в год)
8	Наступление события неизбежно с очень высокой повторяемостью, или вероятность его наступления составляет более $10^2$ раз в год (более 100 раз в год)
<b>Время воздействия первичного субъекта воздействия на объекты риска</b>	
1	Воздействие фактора отсутствует
2	Воздействие фактора носит импульсный характер (менее 5-10 минут)
3	Воздействие фактора очень мало (менее 1 часа)
4	Воздействие фактора достаточно мало (1-12 часов)
5	Воздействие фактора небольшой продолжительности (12-24 часа)
6	Воздействие фактора средней продолжительности (24-48 часов)
7	Воздействие фактора значительной продолжительности (48-96 часов)
8	Воздействие фактора очень продолжительное (96-120 часов)
9	Воздействие фактора очень продолжительное (5-10 дней)
10	Воздействие фактора крайне продолжительное (более 10 дней) или он носит постоянный характер
<b>Сезонное распределение формирования опасных явлений и процессов</b>	
5	Риск не зависит от сезонных условий
4	Риск связан с сезонными условиями и происходит в наиболее угрожающий период
3	Риск связан с сезонными условиями и происходит в переходные периоды
2	Риск связан с сезонными условиями и происходит в наименее угрожающий период
1	Риск связан с сезонными условиями и их изменение приводит к его полной нейтрализации или значительной минимизации
<b>Оценка катастрофичности события</b>	
1	Наступление события не приведет к каким-либо нарушениям экосистемы.
2	Наступление события не приведет к значительному нарушению естественного состояния природной среды.
3	Наступление события приведет к созданию «равновесной» ситуации: скорость восстановительных процессов выше или равна темпу антропогенных нарушений.
4	Наступление события приведет к созданию предкризисной ситуации: скорость восстановительных процессов равна или несколько ниже темпа антропогенных нарушений.
5	Наступление события приведет к формированию кризисной ситуации: антропогенные нарушения превышают по скорости естественно-восстановительные процессы, но сохраняется естественный характер экосистем.
6	Наступление события приведет к формированию предкритической ситуации: антропогенные нарушения значительно превышают по скорости естественно-восстановительные процессы.
7	Наступление события приведет к формированию критической ситуации: существенная замена компонентов прежде существовавших экосистем под антропогенным воздействием, поступление токсикантов значительно по объему и токсичности.
8	Наступление события приведет к формированию катастрофической ситуации на объектовом уровне: труднообратимый процессы нарушения экосистем.
9	Наступление события приведет к формированию катастрофической ситуации на региональном уровне: необратимые процессы нарушения экосистем.
10	Наступление события приводит к глобальным нарушениям для окружающей природной среды: необратимые процессы нарушения экосистем на большом расстоянии.

Поскольку гидрометеорологические условия и природные явления и процессы во многом определяют состояние системы (полигона) в целом, следует полагать, что многие контролируемые параметры носят нечёткий характер.

В рассматриваемой системе управления нейронная сеть обеспечивает адаптацию характеристик системы в условиях неопределенности. Для заданных контрольных точек состояния системы создается множество линейных регуляторов (сетевых ансамблей), взаимодействующих с нейросетевой структурой, находящейся на супервизорном уровне для объединения этих линейных регуляторов.

При обучении такой нейросети предварительно генерировались веса и смещения нейронов сети. Массив обучающих данных может содержать до 100 значений. Число циклов обучения составляет несколько десятков тысяч. Пробное обучение сети показало высокий процент рассогласований тестового массива данных и результатов работы системы, что свидетельствует о значительной зашумленности входного массива данных.

Практическая реализация активной экспертной системы с нейросетевым устройством базы знаний представляет собой интерпретатор правил. Программа – интерпретатор осуществляет взаимодействие с пользователем (ввод вопроса, вывод консультационного решения, внутренние запросы к базе данных и к базе знаний). На основе этих данных осуществляется классификация ситуаций по группам в соответствии со степенью риска, что повышает эффективность управления полигоном.

Программа имеет три режима функционирования: а) экспертный, б) пользовательский, в) учебный. В последнем случае результат сравнивается с вариантом, указанным экспертом.

Таким образом, с помощью одной и той же программы осуществляется непосредственный мониторинг опасного производственного объекта, а также открывается возможность подготовки квалифицированного персонала, способного решать сложные многофакторные задачи в условиях ограничения по времени, недостатка и зашумленности входных данных.

#### **Основные выводы по работе сводятся к следующему:**

1. Наиболее экстремальным по интенсивности и количеству осадков является летний сезон. Максимум осадков в последние годы сдвинулся с августа на июль. Наблюдается тенденция превышения месячной нормы летних осадков, что может вносить дополнительный вклад в развитие и интенсивность паводковой ситуации.
2. Начиная с 1980-годов, фиксируются частые экстремальные отклонения сумм зимних осадков от средних значений. Наибольшую опасность представляют интенсивные осадки



продолжительностью около 2-4 суток (экстремумы до 300 мм), которые могут вызвать переполнение карт-хранилищ токсичных отходов и попадание загрязняющих веществ в гидрографическую сеть реки Нева.

3. На основе численного моделирования интенсивных атмосферных процессов выделены экстремальные природные факторы, определяющие степень их возможного воздействия и, влияющих на уровень риска, связанного с развитием чрезвычайных (аварийных) ситуаций.

4. Исследования синоптических условий перехода приземной температуры через 0 °С выявили большую вероятность образования наледей в марте месяце, которые связаны с выходом «южных» циклонов, что в сочетании с развитием паводковой ситуации может привести к катастрофическим последствиям.

5. Сделан вывод о том, что рискологический подход должен лежать в основе не только решения задачи идентификации угроз и минимизации экологических рисков, но, и при разработке нормативных и законодательных документов, обеспечивающих устойчивое и экологически безопасное функционирование опасных объектов.

6. Показана целесообразность в качестве дополнительного инструментария для оценивания уровня риска, а также оценки уровня затрат/экономии на всех этапах обращения опасных отходов, использования математических и статистических моделей, а также применения специализированного программного обеспечения для принятия оптимальных научно обоснованных управленческих решений и в определении приоритетности действий при развитии опасных ситуаций на полигоне «Красный Бор» и смягчения их последствий.

7. Статистический анализ комбинаций возможных ситуаций (сценариев) позволил определить информационную обеспеченность риска на основе формализации экспертных заключений и построить более эффективную систему их адаптации, с соблюдением требуемого уровня экологической безопасности.

#### **Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:**

- 1) Марова А.В. «Концепция обеспечения безопасного функционирования особого объекта в условиях нестабильной внешней среды» // Экология урбанизированных территорий, №1, 2010. С.63-72.
- 2) Березин И.К., Чусов А.Н., Марова А.В. «О результатах реализации международного проекта программы LIFE «Разработка плана природоохранных мероприятий при обращении с муниципальными отходами в Санкт-Петербурге» // Сб. «Материалы встреч международной группы экспертов проекта «Разработка плана природоохранных мероприятий при обращении с муниципальными отходами в Санкт-Петербурге». Под ред. М.П. Федорова: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. С.7-15.

- 3) Крупнов О.Р., Березин И.К., Марова А.В. «Проблемные фракции в составе ТКО» // Сб. «Материалы встреч международной группы экспертов проекта «Разработка плана природоохранных мероприятий при обращении с муниципальными отходами в Санкт-Петербурге». Под ред. М.П. Федорова. Изд-во Политехн. ун-та, 2006. С.36-43.
- 4) Марова А.В. «Обращение с отходами в Швеции и Финляндии» // Сб. «Материалы встреч международной группы экспертов проекта «Разработка плана природоохранных мероприятий при обращении с муниципальными отходами в Санкт-Петербурге». Под ред. М.П. Федорова: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. С.64-73.
- 5) Марова А.В., Чусов А.Н., Негуляева Е.Ю. «Природоохранные технологии на полигонах ТБО» // Научно-практический журнал «Твердые бытовые отходы». № 3 Март 2007. С.44-51.
- 6) Телицын В.Л., Марова А.В. «Природоохранные аспекты обращения с твердыми коммунальными отходами» // Сб. «Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2006 году». Под ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина, СПб 2007. С. 379-384.
- 7) Телицын В.Л., Марова А.В. «Обеспечение экологической безопасности при работе полигона «Красный Бор» // Сб. «Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2006 году». Под ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина, СПб 2007. С.385-391.
- 8) Телицын В.Л., Марова А.В. «Использование передового европейского опыта обращения с опасными промышленными отходами и рекультивации полигона «Красный Бор» // Сб. «Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2006 году». Под ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина, СПб 2007. С.392-397.
- 9) Телицын В.Л., Марова А.В. «Разработка подходов к санации и новому использованию территорий на примере Конюшенной площади» // Сб. «Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2006 году». Под ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина, СПб 2007. С.370-375.
- 10) Телицын В.Л., Марова А.В., Савватеева О.С., Харламов А.В., Константинова О.В. «Охрана окружающей среды и обеспечение экологической безопасности при обращении с опасными промышленными отходами на полигоне «Красный Бор» // Сб. «Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2008 году». Под ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина, СПб 2009. С.326-333.

- 11) Телицын В.Л., Марова А.В., Крутой Д.М., Купцова Н.М., Константинова О.В., Байков М.Ю. «Рекультивация загрязненных территорий Санкт-Петербурга» // Сб. «Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2008 году». Под ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина, СПб 2009. С.320-325.
- 12) Агуренков А.Л., Климентьев Ю.А., Телицын В.Л., Марова А.В., Крутой Д.М. «Обращение с твердыми коммунальными отходами в Санкт-Петербурге в 2008 году» // Сб. «Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2007 году». Под ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина, СПб 2008 . С.322-330.
- 13) Телицын В.Л., Марова А.В. «Охрана окружающей среды и обеспечение экологической безопасности при обращении с опасными промышленными отходами на полигоне «Красный Бор» // Сб. «Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2007 году». Под ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина, СПб 2008. С.331-337.
- 14) Телицын В.Л., Марова А.В., Крутой Д.М. «Природоохранные технологии рекультивации почво-грунтов биологического типа» // Сб. «Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2007 году». Под ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина, СПб 2008. С.317-321.
- 15) Телицын В.Л., Марова А.В., Крутой Д.М., Колосов В.А., Мыглан В.В., Горький А.В. «Проблема комплексного загрязнения почв Санкт-Петербурга» // Сб. «Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2007 году». Под ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина, СПб 2008. С.305-316.
- 16) Марова А.В. «Вопросы обращения с опасными отходами на территории субъектов Российской Федерации». // Сборник материалов XI Международного экологического форума «День Балтийского моря» СПб: ОО «Макси-Принт», 2010. С. 77.