

На правах рукописи

Кретины Александр Анатольевич

УДК:621.039.73

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭКРАНИРУЮЩЕГО СЛОЯ В
ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ХРАНИЛИЩАХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**

Специальность 25.00.36 – "Геоэкология"

Автореферат

**диссертации, представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук**



Москва 2004

Работа выполнена в Московском государственном геологоразведочном университете имени Серго Орджоникидзе и Научно-техническом центре по дезактивации и комплексному обращению с радиоактивными отходами, веществами и источниками ионизирующего излучения (НТЦ КОРО) МЧС Украины.

Научный руководитель:
доктор техн. наук

И.Ю. Шишиц

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор

Ю.П. Галченко

кандидат технических наук, доцент

Д.В. Иванов

Ведущая организация: МосНПО «Радон» (г. Москва).

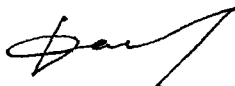
Защита диссертации состоится «23» декабря 2004 г. в 14⁰⁰ час., а. 5-87 на заседании Д 212.121.09 в Московском государственном геологоразведочном университете им. Серго Орджоникидзе.

Адрес: 117997, г. Москва, ул. Миклухо – Маклая, д.23

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе 117997, г. Москва, ул. Миклухо – Маклая, д.23.

Автореферат разослан  ноября 2004г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Л.П. Рыжова

2006-4
205M

2246009

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Надежная изоляция радиоактивных отходов является актуальной проблемой для Украины, входящей в первую десятку стран мира по производству атомной энергии, имеющей развитую инфраструктуру по добыче и переработке урановых руд, использующей в большом количестве ИИИ и РВ в промышленности, науке, медицине и других отраслях. Решение проблемы захоронения РАО не может быть затянuto на долгий период, т.к. уже сейчас создалась сложная радиационная обстановка на территории страны, усугубленная Чернобыльской катастрофой: существует реальная угроза переполнения хранилищ РАО на АЭС и спецкомбинатах "Радон", отмечается несоблюдение технологии хранения и консервации РАО; наблюдаются несанкционированное накопление и неконтролируемое складирование отработанных изотопных источников и других отходов.

Обезвреживание и локализация РАО в условиях Украины приобретают важнейший экологический аспект защиты населения и окружающей природной среды от вредного воздействия радионуклидов и определяют будущее развития страны.

Наиболее рациональным, экономичным и надежным способом изоляции низко- и среднеактивных отходов является их размещение в приповерхностных хранилищах, отвечающих условиям многобарьерной защиты.

Исследования по изоляции РАО в таких хранилищах были начаты при отсутствии в Украине достаточной информации и практического опыта в этой области. Поэтому была поставлена задача разработать и обосновать научно-технические основы надежной изоляции РАО в специфических условиях Чернобыльской зоны отчуждения. Работы по этому направлению велись в рамках специализации 25.06.36 «Геозкология» и, в частности, области исследований «Геозкологическое обоснование безопасного размещения, хранения и захоронения токсичных, радиоактивных и других отходов».

По своему назначению работы относятся к поисково-теоретическим и направлены на получение новых, более полных сведений об изучаемом объекте. Исследования носили комплексный характер и включали в себя теоретические и экспериментальные работы, физическое и математическое моделирование, разработку конструктивных решений с использованием, в частности, средств и методов горного производства.

Основная идея работы: использование принципа многобарьерной защиты для ограничения распространения РАО за счет оптимизации параметров изолирующего подстилающего слоя.

Целью работы является установление закономерностей сохранения специально создаваемым подстилающим (экранирующим) слоем хранилища изоляционных свойств на период проведения регулирующего контроля.

Основными задачами исследований являются:

- анализ современного состояния обращения с РАО и методов изоляции в приповерхностных хранилищах;
- разработка требований к конкретному объекту исследования (применительно к Чернобыльской зоне отчуждения);
- обоснование параметров и типов приповерхностных хранилищ;
- исследование и выбор оптимальных параметров экранирующего слоя для приповерхностных хранилищ;
- оценка риска распространения радионуклидов для приповерхностных хранилищ;
- определение оптимальных параметров хранилищ и аналитическое доказательство прогнозных оценок влияния хранилищ РАО на население и окружающую природную среду при их эксплуатации и в постэксплуатационный период. Разработка технических средств и технологий для локализации и ликвидации негативных техногенных последствий их функционирования;

- оптимизация технических средств контроля и мониторинга.

Основными методами исследований являются: научное обобщение и анализ результатов исследований в данной и смежной областях науки, физическое и математическое моделирование, математическая статистика и теория вероятности, корреляционный и регрессионный анализы, методы теории прогнозирования, аналитические, натурные и лабораторные исследования на основе апробированных и специальных методик и программ.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1) Определение границ распространения радионуклидов во вмещающих породах с учетом параметров экранирующего слоя при нормальных и аварийных условиях.

2) Закономерности развития сорбционных и диффузионных процессов переноса радионуклидов в массиве экранирующего слоя, зависящие от ряда физических параметров слагающих материалов.

3) Оценка доз облучения, с учетом параметров экранирующего слоя, гарантирующая защиту населения и окружающей природной среды от влияния захораниваемых отходов.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций работы подтверждается:

- результатами и представительным объемом лабораторных и натурных исследований;
- высокими показателями статистических связей, подтверждающими взаимосвязь параметров и т.д.;
- сопоставимостью экспериментальных и расчетных результатов с данными натурных исследований, подтвержденных в широком диапазоне условий;
- подтверждением теоретических результатов опытными данными, полученными на реальных объектах, соответствием их основополагающим закономерностям.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- впервые в Украине обоснованы конструкции модульных хранилищ РАО и системы инженерных барьеров применительно к Чернобыльской зоне отчуждения;
- проведены пионерные исследования воздействия отходов на окружающую природную среду, персонал и население при сооружении и заполнения хранилища и в постэксплуатационный период;
- впервые для Чернобыльской зоны отчуждения проведены исследования миграции РН через инженерные барьеры и протекающих при этом геохимических процессов;
- на основании экспериментальных исследований получены показатели защитных свойств сорбционного слоя;
- разработана и обоснована сеть наблюдательных скважин и регламент контроля для своевременного принятия мер предотвращения загрязнения грунтовых вод;
- впервые рекомендована адаптация математической гауссовой модели к конкретным условиям распределения примесей в атмосфере при расчетах распространения радионуклидов от точечных источников выбросов.

Научное значение диссертации состоит в получении новых данных для разработки методологической базы, обосновании технико-технологических решений по надежной и экологически безопасной изоляции отходов в едином Центре переработки и захоронения РАО в Украине.

Практическое значение работы. Дано геоэкологическое и экономическое обоснование безопасного размещения в Чернобыльской зоне отчуждения единого центра по переработке и захоронению низко- и среднеактивных отходов всех предприятий, организаций и учреждений Украины (кроме предприятий добычи и переработки руды).

Обосновано создание многобарьерной инженерной изоляции хранилищ. В ней основным изолирующим барьером служит специальный сорбционный экранирующий слой. Даны практические рекомендации по технологии приготовления и укладки сорбционного слоя. Предложенная конструкция хранилищ обеспечивает безопасность хранения РАО как при нормальных, так и аварийных условиях их эксплуатации.

В качестве мероприятий по обеспечению функционирования хранилищ (кроме создания многобарьерной системы) рекомендована специальная сеть наблюдательных скважин. Разработанный регламент контроля состояния подземных вод позволит своевременно принять меры по предотвращению распространения радионуклидов в окружающую природную среду.

Реализация результатов исследований заключается в обосновании технической возможности и экономической целесообразности создания Центра переработки и захоронения РАО в Чернобыльской зоне отчуждения, что положено в основу ТЭО и проектной документации сооружения данного объекта, а также разработки основных положений:

- 1) «Стратегического плана Минчернобыля Украины в сфере обращения с РАО»;
- 2) «Государственной программы обращения с радиоактивными отходами», утвержденной постановлением Кабинета Министров Украины от 29 апреля 1996 г. № 480;
- 3) «Комплексной программы обращения с радиоактивными отходами», утвержденной постановлением Кабинета Министров Украины от 5 апреля 1999 г. № 542;
- 4) концепций консервации хранилищ «Буряковка» и «III очередь ЧАЭС».

Вышеуказанные документы прошли все соответствующие этапы Государственной экспертизы и утверждены в установленном порядке.

Апробация работы. Основные положения диссертации и результаты исследований докладывались и получили одобрение на советах и совещаниях в Государственном предприятии «Центр переработки и захоронения техногенных отходов («Техноцентр»)» – как эксплуатирующей организации будущего ЦПЗ, в Государственном комитете ядерного регулирования, Минчернобыле и МЧС Украины, УкрГО «Радон», двусторонних встречах украинских и иностранных специалистов (России, Германии, Франции, Испании), международных конференциях и выставках, в т. ч. на семинаре «Проблемы и перспективы обращения с РАО в Украине», который проводился в рамках V Всевропейской конференции министров охраны окружающей среды (Киев, март 2003) и Международном симпозиуме «Безопасность жизнедеятельности в XXI веке» (Днепропетровск, январь 2004).

Публикации. Основные положения работы изложены в ряде научных отчетов НТЦ КОРО и опубликованы в 2 монографиях и 11 научных статьях.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, 5 разделов, заключения, содержит 30 рисунков, 46 таблиц, список литературы из 53 названий.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность диссертации, изложены основное содержание работы и ее практическая ценность.

В первой главе *"Анализ современного состояния и обоснование централизованной схемы обращения с РАО в стране"* дана краткая характеристика мест образования и сосредоточения радиоактивных отходов. Особенностью структуры накопленных в Украине РАО является значительная доля отходов, образовавшихся вследствие Чернобыльской катастрофы.

На основе изучения состояния обращения с РАО на предприятиях-производителях отходов сделаны следующие основные выводы:

- 1) В настоящее время в Украине параллельно существуют:
 - децентрализованная схема обращения с РАО на уровне основных производителей отходов (АЭС, уранодобывающая промышленность и др.), которые решают свои проблемы самостоятельно (отдельные хранилища, оборудование, финансирование, нормативы и т.п.);
 - централизованная схема на более высоком уровне: на протяжении более трех десятков лет в стране функционирует независимая от производителей отходов система сбора и захоронения РАО – межобластные спецкомбинаты УкрГО "Радон".
- 2) Целесообразно рассмотреть вопрос о централизации переработки РАО всех АЭС и отказе от строительства новых хранилищ РАО на станциях, которые служат только для временного хранения отходов на полный (а при существующей системе переработки и хранения – неполный) срок их эксплуатации. В дальнейшем, при снятии ядерных блоков и АЭС с эксплуатации, эти хранилища должны быть освобождены от РАО и ликвидированы.
- 3) На сегодняшний день существует ряд проблем, без решения которых невозможно осуществить программы снятия с эксплуатации Чернобыльской АЭС и преобразования IV энергоблока в экологически безопасную систему. Прежде всего, это отсутствие достоверной информации о параметрах радиоактивного загрязнения. Для большей части могильников РАО в зоне отчуждения ЧАЭС принятие обоснованных решений относительно обращения с отходами требует проведения дополнительных целенаправленных исследований по оценке риска, обусловленного миграцией РН в подземных водах. Необходимо проанализировать риски вследствие миграции, используя новые экспериментальные и мониторинговые данные, учитывая весь спектр дозообразующих нуклидов (включая трансурановые), опираясь на новые нормативные требования в Украине по радиационной безопасности и используя единую для всех объектов международную апробированную методику радиологических расчетов.
- 4) Продолжается накопление РАО и отработанных ИИИ на предприятиях-производителях отходов, которое ведет к непредсказуемым последствиям, повышается вероятность аварий, угроза здоровью людей, что компрометирует государственную политику в области атомной энергетики и промышленности. В районах размещения объектов по обращению и захоронению РАО существует определенная социальная напряженность.
- 5) Анализ результатов проведенного обследования ПЗРО спецкомбинатов УкрГО "Радон" показал, что технология захоронения не отвечает современным требованиям, не решены вопросы по технической оснащенности и безопасному хранению РАО, требуется сооружение новых хранилищ и реконструкция Киевского, Донецкого, Днепропетровского МСК.

При всех имеющихся недостатках в работе этого объединения, связанных не только с принятой технологией, но и с общим снижением исполнительской дисциплины в стране, сама система обслуживания многотысячного контингента поставщиков РАО (от сельских больниц до НИИ, которые имеют ядерные реакторы) себя оправдала.

Необходимо централизацию в области обращения с радиоактивными отходами поднять на более высокий – государственный уровень, с учетом опыта работы УкрГО "Радон".

Варианты децентрализованной и централизованной схем обращения с РАО.

Наличие большого количества источников и объектов накопления РАО ставит Украину перед необходимостью создания единой государственной системы обращения с этими отходами. В качестве первоочередного рассматривается вопрос переработки и захоронения низко и среднеактивных отходов, которые составляют основную (85-90%) часть всех РАО страны.

При обосновании схем переработки и захоронения НАО и САО рассматривались варианты децентрализованного (существующего) и централизованного распределения (размещения) производств по переработке и хранению/захоронению РАО (рис. 1).

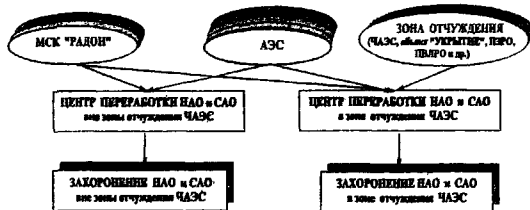


Рис. 1 – Варианты централизованной схемы обращения с РАО

Выбор места и геоэкологическое обоснование безопасного размещения хранилища. Для определения мест захоронения НАО и САО с короткоживущими РН нами рассмотрены варианты, связанные, прежде всего, с горным производством.

Детально рассмотрены предложения о возможности размещения НАО и САО в урановых рудниках Украины. Проведенная экспертная оценка показала, что урановые рудники невозможно использовать в настоящее время и прогнозируемом будущем для размещения хранилищ РАО.

Специальное строительство подземного хранилища только для низко- и среднеактивных отходов является мероприятием дорогостоящим (экономически неоправданным) и растянутым во времени, а проблема изоляции этих отходов, составляющих основную часть всех РАО Украины, является первоочередной.

По документам и рекомендациям МАГАТЭ низко- и среднеактивные отходы с короткоживущими РН допускается захоранивать в приповерхностных и поверхностных могильниках и мировая практика идет по этому пути. В настоящее время имеется отработавшая технология такого захоронения (например, во Франции, Англии, Испании, Словакии), которая приемлема и для Украины.

На основании анализа материалов по геологическому строению территории Украины специалистами ИГН НАНУ в качестве наиболее перспективных выделены три типа структур: Украинский щит, Днепровско-Донецкая впадина и Северо-Западный Донбасс. В границах этих структур были предложены к рассмотрению 3 варианта размещения хранилища: в зоне отчуждения ЧАЭС или вблизи ее границ, в Народичском районе Житомирской области и в Днепропетровской области.

Использован метод бонитирования, применяемый для обоснования размещения объектов ядерной энергетики. Факторы, влияющие на размещение площадок, разделяются на две группы: антропоцентрические (численность и плотность населения, наличие крупных населенных пунктов, размещение относительно государственных границ, политические, экономические, социальные и культурные условия) и экологические, которые в свою очередь разделяются на три подгруппы в порядке значимости: геологические и сейсмические, географические и гидрогеологические, техногенно-геохимические и биологические.

Антропоцентрические факторы в целом благоприятны в северных районах Киевской и Житомирской областей в связи с отселением людей из отчужденных территорий (степень риска при аварийных ситуациях становится минимальной).

После оценки вариантов размещения хранилища на основании анализа имеющихся данных о природных, социальных, транспортных, энергетических условиях и прочих факторов, предложено размещение площадки для ЦПЗ в зоне отчуждения ЧАЭС.

Выбор технологий переработки РАО и оборудования для их реализации. Переработка, обеспечивающая сокращение объемов отходов и перевод их в форму, пригодную для безопасного долгосрочного хранения/захоронения, признана обязательным звеном общей схемы локализации РАО. Были рассмотрены технологические аспекты и проведены экономические оценки возможных способов обращения с РАО.

В качестве альтернативы способам переработки рассматривался ряд вариантов захоронения непеработанных ТРО в различного вида железобетонных хранилищах (секциях) и контейнерах. Для обоснования выбора технологии и места размещения оборудования при переработке РАО проведены экономические расчеты по различным процессам и их сопоставление с учетом затрат на транспорт, переработку и дальнейшее захоронение отходов.

Результаты сравнительной оценки вариантов схем обращения с РАО. При детальном экономическом сравнении рассматривались два варианта:

I вариант – ориентирован на реконструкцию и модернизацию существующей децентрализованной схемы обращения с РАО:

- ◆ УкрГО “Радон” – создание новых ПЗРО и технологий переработки отходов на всех спецкомбинатах, в т.ч. на новых площадках (Киевский и Донецкий МСК), перезахоронение существующих могильников;
- ◆ АЭС – оснащение цехов обращения с РАО установками и технологиями переработки отходов, строительство новых хранилищ в период эксплуатации энергоблоков, в т.ч. для введения в эксплуатацию новых блоков. Вопрос последующего захоронения отходов при снятии энергоблоков и в целом АЭС с эксплуатации остается открытым;
- ◆ зона отчуждения – создание производства (комплекс “Вектор”) по переработке и захоронению отходов чернобыльского происхождения, а также РАО после снятия с эксплуатации блоков ЧАЭС.

II вариант – централизованная схема (вариант 4):

- ◆ создается единый Центр по переработке и захоронению НАО и САО Украины (ЦПЗ);
- ◆ участки обращения с РАО на АЭС и ПЗРО спецкомбинатов “Радон” перепрофилируются в пункты сбора, первичной переработки и временного хранения отходов;
- ◆ предприятия зоны отчуждения и ЧАЭС после снятия блоков с эксплуатации обеспечивают сбор и транспортировку отходов в ЦПЗ.

Комплексное сравнение вариантов децентрализованной и централизованной схем обращения с РАО выполнено по следующим основным показателям:

- ◆ экономические; технические; экологические; социальные;
- ◆ срок реализации.

Экономические показатели – при осуществлении программы по централизованной схеме будет получена экономия капитальных ассигнований главным образом за счет:

- ◆ снижения капитальных вложений, которые потребовались бы для строительства дополнительных хранилищ РАО на АЭС и закупки импортного оборудования и технологий для каждой станции;

комплексного решения проблем сбора, переработки и захоронения РАО чернобыльского происхождения (с учетом снятия с эксплуатации 3-х блоков ЧАЭС);

- ◆ снижения затрат на реконструкцию, новое строительство и перепрофилирование существующих ПЗРО в системе УкрГО “Радон”.

За счет снижения капитальных вложений при централизации производства резко уменьшаются (на 77,7%) удельные затраты на переработку и захоронение 1 м³ РАО (в т.ч. на 62,3% в валютном исчислении).

Технические показатели – предполагается применение передовых технологий по обращению с РАО: сортировка, компактирование, сжигание, прессование, перевод в стойкие компаунды, контейнеризация и длительное хранение в специальных упаковках. Варианты

централизованной схемы характеризуются значительным снижением количества необходимого оборудования и специальных систем.

Экологические показатели – предусматриваются системы обращения с РАО, обеспечивающие безопасность работы персонала и минимальный уровень воздействия на окружающую среду при нормальной эксплуатации и аварийных режимах с соблюдением требований действующих нормативных документов. При этом варианты централизованного хранения/захоронения характеризуются улучшением экологической обстановки.

Социальные факторы – необходимо отметить, что централизованный вариант характеризуется положительными социальными аспектами.

Сроки реализации – по этому фактору вариант централизованной схемы является предпочтительным, так как предусматривает сооружение незначительного числа новых объектов и изготовления (приобретения) меньшего количества необходимого оборудования.

Таким образом, по сумме сравниваемых показателей обоснована и рекомендуется к реализации централизованная схема обращения с РАО. Предлагаемые организационные, технические и технологические решения, включающие в себя богатый опыт зарубежных стран (Россия, Англия, Франция, США), современные достижения в области науки и техники, позволяют в короткие сроки решить назревшую в Украине сложную проблему обращения с РАО и получить значительный экономический, экологический и социальный эффекты.

Цель работы – геоэкологическое обоснование безопасного размещения на выбранной площадке, хранилища (могильника) для захоронения наиболее значимых по физическому объему низко- и среднеактивных отходов всех предприятий Украины (кроме добычи и переработки сырьевых ресурсов). Разработка специальных экологически и технически безопасных конструкций и сооружений хранилищ, технологий хранения и захоронения РАО, определение условий эксплуатации объекта и постэксплуатационного обслуживания. Использовать принцип многобарьерной защиты, базирующийся на выборе (подборе) слабопроницаемых и экономичных материалов экраняющего слоя в качестве основного изолирующего барьера, обеспечивающего радиационную безопасность в комплексе с инженерными мероприятиями, реализуемыми при сооружении хранилища.

Во второй главе "**Конструирование хранилищ центра переработки и захоронения РАО**" рассмотрены современные требования к приповерхностному захоронению РАО. Задача создания хранилища РАО решается методами горных технологий, включающих сооружение больших котлованов, использование землеройной техники, укрепление откосов насыпных сооружений, отвода вод и т.п.

Особое внимание при обосновании конструкции размещения хранилищ уделяется характеристикам площадки размещения, определяющим безопасность захоронения РАО в течение всего периода времени его потенциальной опасности.

Выбор типа хранилища. Систематизируя имеющийся в Украине и за рубежом опыт, можно подразделить приповерхностные хранилища РАО на четыре типа. В табл. 1 дана экспертная оценка рассмотренных типов хранилищ и способов размещения в них РАО, проведенная по 5 балльной системе с учетом факторов, обеспечивающих как безопасность, так и экономичность хранения РАО.

Таблица 1 – **Экспертная оценка конструкций хранилищ РАО**

Тип хранилища	Оценка фактора, бал						Сумма баллов
	устойчивость к внешним воздействиям	изоляция от подземных вод	внутренняя безопасность	подконтрольность хранения	возможность извлечения отдельной упаковки	экономичность	
A-1 (ТРО-1)	4	4	3	3	1	1	16
A-2 (ТРО-2)	4	5	4	4	2	3	22

Тип хранилища	Оценка фактора, балл						Сумма баллов
	устойчивость к внешним воздействиям	изоляция от подземных вод	внутренняя безопасность	подконтрольность хранения	возможность извлечения отдельной упаковки	экономичность	
Б-1	2	2	2	2	0	3,5	11,5
Б-2	1	1	1	1	0	5	9

Анализ показал, что рейтинг хранилища А-1 (в дальнейшем ему присвоен шифр ТРО-2) наиболее высокий по всем инженерным параметрам, направленным на повышение безопасности хранения РАО.

Комплекс (контейнер, заполнитель, железобетонные секция) должен иметь достаточную внутреннюю безопасность, механическую прочность и устойчивость сооружений как минимум на период 300 лет.

Конструктивное оформление хранилищ. Научно доказано, что гарантированная прочность основания и конструкций модуля (секции) – одно из важнейших условий при захоронении радиоактивных отходов. Для варианта размещения ЦПЗ в зоне отчуждения ЧАЭС были выполнены следующие расчеты:

Расчет основания для секций модуля. Целью расчета является определение и ограничение перемещений конструкции в таких пределах, которые гарантируют долговечность и нормальное ее функционирование. Все расчеты предельных состояний проводились с учетом совместной работы сооружения и его основания. Предельная допустимая величина деформации принималась равной 0,1 м. Расчет деформаций выполнялся по программе “Осада” СГСПИ г. Саратов (Россия).

Расчет элементов конструкций секций модуля для захоронения РАО. Расчет толщины стен секций модуля, представляющих собой пространственную конструкцию, сводился к решению плоской задачи (расчет плит). Днище рассчитывалось на изгиб по своей плоскости как плита на упругом основании. Расчет выполнялся по программе “LIRA” НИИАСС Госстроя Украины.

По данным расчета приняты следующие конструктивные решения:

- ◆ стены и днище секции модуля выполняются из бетона класса В15, арматуры – класса АП;
- ◆ стены приняты толщиной 250 мм;
- ◆ днище – толщиной 400 мм.

Для повышения степени защиты окружающей природной среды от воздействия РН при аварийном влиянии на модули в их основании предусмотрено устройство противодиффузионного экрана в виде двух слоев из глины и пластового дренажа между ними.

Глиняные экраны выполняются из местных каолиновых (Чистоголовское месторождение) глин с послойным (20-25 см) укатыванием тяжелыми катками и увлажнением. Толщина каждого глиняного экрана после уплотнения – 50 см. Коэффициент фильтрации глиняного экрана после уплотнения не должен превышать величины 10^{-3} м/с.

Пластовый дренаж между глиняными слоями принят как наиболее эффективный для сбора и отведения содержащих РН вод при возможных утечках их из хранилища, что может произойти в случае аварийной ситуации, когда из-за нарушения сплошности верхнего гидроизоляционного экрана атмосферные осадки могут попасть во внутрь хранилища и далее, через трещины в бетонном дне, загрязненные радионуклидами растворы будут проникать через противодиффузионный экран в подстилающие

естественные грунты. Сбор загрязненных вод, поступающих из пластового дренажа, предусматривается в проходную галерею глубокого залегания.

В третьей главе «Исследование экранирующего слоя для хранилищ РАО в Чернобыльской зоне отчуждения» отмечается, что основным видом воздействия хранилища на окружающую природную среду после закладки и консервации РАО является распространение (миграция) радионуклидов из захоронения. Главным катализатором и носителем радионуклидов при выносе их из хранилища и миграции является поровая вода (инфильтрационная), поэтому оценивается обычно загрязнение подземных вод.

Прогноз миграции радионуклидов из хранилищ при отсутствии нижних экранов. Расчет миграции радионуклидов из хранилищ производился по двум наиболее мигрирующим и значимым (с точки зрения содержания и периода полураспада) короткоживущим радионуклидам – ^{90}Sr и ^{137}Cs .

Время задержки поступления радионуклида в водоносный горизонт вследствие миграции в зоне аэрации может быть рассчитано с использованием формулы:

$$t_v = h (\theta + p K_d) / \varepsilon, \quad (1)$$

где h – мощность ненасыщенной зоны между дном траншеи и зеркалом грунтовых вод, м;

p – плотность грунта, кг/дм³;

K_d – коэффициент распределения РН в системе «вода-порода», дм³/кг;

θ – влагосодержание в ненасыщенной зоне, безразмерн.;

ε – инфильтрационное питание, м/год.

Миграция радионуклидов в водоносном горизонте моделируется трехмерным уравнением конвективной диффузии (одномерный конвективный перенос в направлении скорости фильтрации и трехмерная дисперсия в продольном и поперечном направлениях). Предполагается, что водоносный горизонт однороден по фильтрационным и сорбционным свойствам и имеет постоянную мощность, а поток грунтовых вод является одномерным и характеризуется известной постоянной во времени и пространстве скоростью фильтрации. Расчетная схема миграции представлена на рис. 2.

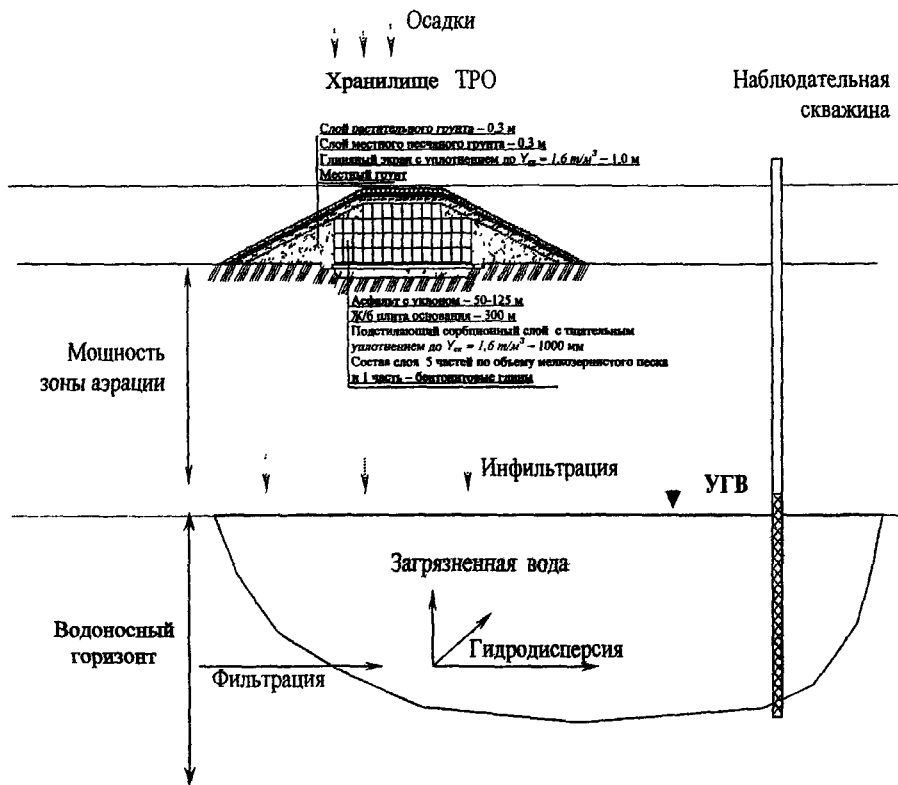


Рис. 2 – Расчетная схема миграции радионуклидов в зоне аэрации и водоносного Горизонта

Для описания временной динамики поступления радионуклида из захоронения в гидрогеологическую систему программы PAGAN использует экспоненциальную модель источника:

$$Q(t) = Q_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot t), \quad (2)$$

где $Q(t)$ – интегральная для всего прямоугольного источника (захоронения РАО) скорость поступления радионуклида в гидрогеологическую систему, Бк/год;

Q_0 (Бк/год) и α (год⁻¹) – параметры модели;

t – время, год.

В том случае, когда миграция радионуклидов в водоносный горизонт происходит из захоронения поверхностного типа, параметры α и Q_0 могут быть рассчитаны следующим образом:

$$\alpha = (R \cdot T_f)^{-1}, \quad (3)$$

$$R = 1 + p/\theta \cdot K_d, \quad T_f = H \cdot \theta / \epsilon, \quad (4)$$

$$Q_0 = \alpha \cdot A_0, \quad (5)$$

где T_f – время вертикальной миграции воды в теле хранилища, год;

R – коэффициент замедления миграции радионуклида в хранилище вследствие сорбции, безр.;

H – глубина хранилища, м;

A_0 – начальный запас радионуклида в захоронении, Бк.

Значения других гидрогеологических параметров, использованные при прогнозе, сведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2 – *Гидрогеологические параметры прогноза миграции радионуклидов из хранилища в подземные воды*

Параметр	Значение
Осадки	600 мм/год
Объемная влажность в ненасыщ. зоне	0,1
Плотность грунта	1,6 кг/дм ³
Мощность водоносного горизонта	20 м
Коэффициент фильтрации	10 м/сут.
Градиент потока грунтовых вод	0,002
Эффективная пористость, безр.	0,2
Расчетная действительная скорость фильтрации подземных вод	36,4 м/год
Коэффициент продольной гидродисперсии	5 м
Коэффициент поперечной гидродисперсии	0,5 м

Таблица 3 – *Геомиграционные параметры прогноза миграции радионуклидов из хранилища в подземные воды*

Параметр	Стронций-90	Цезий-137
Период полураспада.	28,6 года	30,2 года
Коэффициент распределения для грунта зоны аэрации.	0,5 л/кг	2,5 л/кг
Коэффициент распределения для водоносного горизонта.	1 л/кг	10 л/кг
Расчетный коэффициент сорбционной задержки для грунта водоносного горизонта.	9	80
Расчетная скорость миграции фронта РН в подземных водах.	4 м/год	0,45 м/год
Коэффициент скорости выщелачивания радионуклидов из захоронения в зону аэрации и водоносный горизонт (α).	0,01 год ⁻¹	

Прогнозные концентрации стронция-90 под хранилищами превышают питьевой норматив согласно НРБУ-97 (10 Бк/л) в 10-20 раз. Прогнозные концентрации цезия-137 под хранилищем и в их окрестности составляют не более 10⁻⁴ Бк/л, что не превышает питьевой норматив (100 Бк/л).

При нарушении верхних экранов и отсутствии нижних экранов в хранилищах, в течении 300 лет эксплуатации возможно загрязнение зоны аэрации радионуклидами на всю ее мощность, а также загрязнение грунтовых вод ⁹⁰Sr.

Система барьеров для обеспечения безопасного состояния окружающей природной среды. С целью изоляции радиоактивных отходов в конструкции рассматриваемого хранилища предусмотрена следующая система барьеров:

- первый барьер – контейнеры и упаковки, в которые заключены отходы (захоронение в хранилища модульного типа осуществляется навалом, а также в металлических контейнерах КНПУ-10,5 и первичных упаковках);
- второй барьер – инженерные конструкции хранилища (бетонные отсеки, омоноличивание верха отсека слоем бетона толщиной 500 мм, покрывающий гидроизоляционный экран);
- третий барьер – грунты зоны аэрации под хранилищем и их способность удерживать радионуклиды.

Первый барьер предотвращает поступление радиоактивных веществ в окружающую среду при заполнении хранилища и делокализацию радионуклидов с основным носителем – водой в случае аварий в постэксплуатационный период.

В конструкции хранилища используются множественные барьеры и системы водосбора на пути поступления атмосферных и подземных вод в хранилище и возможного выхода радионуклидов из контейнеров на дневную поверхность и в зону аэрации (второй барьер).

Учитывая природные характеристики площадки, а также для того, чтобы исключить инфильтрационные поступления в зону аэрации, под отсеками хранилища предусматривается создание противодиффузионного экрана в виде многослойной системы:

- железобетонная плита 0,3м;
- сорбционный слой – смесь бентонитовой глины и мелкозернистого песка.

С целью выбора и обоснования защитных свойств подстилающего слоя (сорбционного) впервые для зоны отчуждения ЧАЭС проводились экспериментальные исследования диффузионных и физико-механических свойств материала сорбционного слоя при различном соотношении песка и бентонитовой глины и при разных условиях улажнения экрана.

Экспериментальные исследования подстилающего (сорбционного) слоя. Экспериментальные исследования заключались в определении параметров перемещения радионуклидов в сорбционном слое.

Наиболее значимые механизмы миграции радионуклидов в профиле почвы-конвективный перенос с потоком влаги и диффузия. С количественной точки зрения вклад диффузии в суммарное передвижение в условиях многослойной толщи экранов является преобладающим по сравнению со вкладом конвективного переноса. Конвективный перенос и диффузия радионуклидов тесно связаны с поглощением и прочностью закрепления последних в твердой фазе почвы.

Квазидиффузия (эффективная диффузия) оценивается соответствующим коэффициентом квазидиффузии. Под коэффициентом квазидиффузии понимается то значение коэффициента диффузии, при котором один только процесс диффузии вызовет такое же вертикальное распределение радионуклида, какое наблюдается фактически.

Применяемые материалы и методы исследований. Диффузионный перенос $^{134}\text{Cs}^*$ и ^{90}Sr изучали в колоночных опытах на смесях природного песка и бентонитовой глины. В экспериментах использовались следующие соотношения глины к песку 1:3; 1:5; 1:7 при влажности смеси 60 и 100 % от полной ее влагоемкости в трех повторностях. Перед проведением колоночного эксперимента определены полные влагоемкости смесей, которые составили: для соотношений 1:3 – 22,6 %; 1:5 – 18,4 %; 1:7 – 17,3%. Различное соотношение глины в смесях использовалось для получения ответа на вопрос, как влияет присутствие глинистых минералов на процесс вертикального переноса радионуклидов.

Измерение содержания ^{134}Cs в послонных образцах производилось на спектрометрическом комплексе “ADCAM-300” фирмы ORTEC с полупроводниковым детектором из сверхчистого германия. Содержание ^{90}Sr в пробах определялось после его радиохимического выделения с использованием общепринятых методик на низкочастотном бета-радиометре “CANBERRA-2400” (США).

Определение коэффициентов квазидиффузии радионуклидов в изучаемой смеси. В основу расчетов положены следующие модели миграции РН в почве:

- а) квазидиффузионная;
- б) квазидиффузионная двухкомпонентная;
- в) конвективно-диффузионная.

Использовалось решение обратной задачи в рамках квазидиффузионной модели. По полученным параметрам рассчитаны прогнозные распределения радионуклидов в изучаемых средах. Применен приближенный метод расчета вертикальной миграции

* ^{134}Cs использовался с учетом предположения, о полной идентичности его миграционных свойств с ^{137}Cs

радионуклидов в почво-грунтах, который основывается на решении уравнения:

$$\frac{\partial C(x,t)}{\partial t} = D \cdot \frac{\partial^2 C(x,t)}{\partial x^2} - \lambda \cdot C(x,t). \quad (6)$$

В основе метода лежат следующие предположения: миграция радиоактивных загрязнений рассматривается как квазидиффузионный процесс; коэффициент квазидиффузии - константа. Эти предположения значительно упрощают математический аппарат расчетов.

Вид функции распределения радионуклида по профилю почвы $C(x,t)$ зависит от начальных и граничных условий. Мы рассматривали следующий простой случай: в начальный момент времени на поверхность попадает некоторое количество радионуклида, в дальнейшем на поверхность радионуклид больше не поступает.

Решение уравнения для этого случая имеет вид:

$$C(x,t) = C_0 \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot D \cdot t}} \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{4 \cdot D \cdot t} - \lambda \cdot t\right). \quad (7)$$

Вычисление параметров, характеризующих процесс миграции, производится путем сравнения двух распределений: полученного экспериментально и рассчитанного теоретически в рамках выбранной модели. Задача сводится к определению минимума следующего функционала:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} W_{ij} (C_{\text{э}}(x_i, t_j) - C_{\text{теор}}(x_i, t_j, D))^2 = \min, \quad (8)$$

где $C_{\text{э}}(x_i, t_j)$ – наблюдаемая доля радионуклида в слое глубиной x_i , в момент времени t_j ;

$C_{\text{э}}(x_i, t_j, D)$ – рассчитанная доля радионуклида в слое глубиной x_i , в момент времени t_j ;

W_{ij} – весовые коэффициенты;

D – коэффициент квазидиффузии;

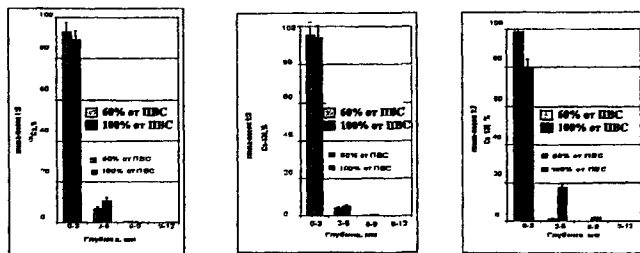
m, n_j – число отобранных профилей и соответствующее число слоев.

Минимизация производится стандартным безградиентным методом.

Результаты проведенных экспериментов. Усредненные результаты вертикального распределения радионуклидов в колонках приведены на рис.3 и 4 (стандартное отклонение содержания радионуклида в слое для всех повторностей не превышает 10%). Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие заключения:

- величина квазидиффузии ^{134}Cs в колонках при всех условиях проведения эксперимента очень низкая (запас радионуклида в слое 0-3 мм колеблется в рамках 80-98 %). С учетом эффекта “старения” (фиксации минералов в составе глин) даже без расчетов можно утверждать, что цезий будет закреплен в сорбционном слое;
- при полной влагоемкости скорость квазидиффузии увеличивается с уменьшением количества глины в смеси. Для смесей глина-песок 1:3 и 1:5 при влажности 60% от полной влагоемкости среды (ПВС) величины квазидиффузии цезия находятся в пределах ошибки (для смеси 1:7 достоверно меньше);
- квазидиффузия ^{90}Sr в колонках со смесью глины и песка гораздо выше таковой для цезия вследствие разных физико-химических свойств этих радионуклидов. Запас стронция после окончания эксперимента в слое 0-5 см колебался от 21 до 28 % его содержания в профиле в зависимости от среды квазидиффузии;
- при полной влагоемкости значимых зависимостей скорости квазидиффузии стронция от содержания глины в смеси не обнаружено. При влажности 60% от ПВС

скорость вертикального переноса возрастает с уменьшением количества глины в колонке.



а) соотношение глина-песок – 1:5; б) то же 1:3; в) то же 1:7

Рис. 3 – Усредненные распределения цезия-134 в колонках со смесью глина-песок при различной влажности от полной влагоемкости смеси



при соотношении глина-песок – 1:3

Рис. 4 – Усредненные распределения стронция-90 в колонках со смесью глина-песок при различной влажности от полной влагоемкости смеси

Определение параметров квазидиффузии и прогнозные оценки миграции радионуклидов в сорбционном слое. Параметры квазидиффузии радионуклидов в смесях глины с песком определялись по методу, который описан выше в рамках квазидиффузионной модели переноса. Эта модель хорошо описывает полученные экспериментальные данные, поскольку смесь однородная по глубине и отсутствуют конвективные токи влаги.

Таблица 4 – Коэффициенты квазидиффузии радионуклидов для различных условий проведения эксперимента

Параметры смеси	$D \times 10^9, \text{cm}^2/\text{с}$					
	1:3, W=60%	1:3, W=100%	1:5, W=60%	1:5, W=100%	1:7, W=60%	1:7, W=100%
Цезий-134	1,0	1,2	1,3	1,5	0,6	2,5
Стронций-90	140	170	170	200	97	160

Эти данные показывают, что скорость квазидиффузии стронция в проведенном эксперименте на два порядка превышает таковую для цезия. Минимальные параметры квазидиффузии для обоих радионуклидов получены в смеси глина-песок 1:7 при 60% от ПВС.

По полученным параметрам рассчитаны прогнозные оценки вертикального перераспределения радио-нуклидов в изучавшихся смесях посредством квазидиффузии в течение десяти и ста лет (табл. 5).

Таблица 5 – Прогнозные распределения цезия-134 (А,%) в смеси глина-песок при

различном их соотношении и при различной влажности от полной влагоемкости W,%, рассчитанные по полученным из экспериментов коэффициентам квазидиффузии (время миграции 10 лет)

Параметры смеси	A, %					
	1:5, W=60%	1:5, W=100%	1:3, W=60%	1:3, W=100%	1:7, W=60%	1:7, W=100%
D, см ² /с	1,3E-9	1,5E-9	1E-9	1,2E-9	6,0E-10	2,5E-9
Глубина, см						
0-1	72,9	69,4	79,1	74,9	89,6	57,3
1-2	24,2	26,5	19,6	22,8	10,2	31,4
2-3	2,7	3,8	1,2	2,1	0,1	9,5
3-4	0,1	0,2	0,02	0,1		1,6
4-5						0,1

В диссертации приведены прогнозные распределения цезия-134 (A, %) в смеси глина-песок при различном их соотношении и при различной влажности от полной влагоемкости W,%, рассчитанные по полученным из экспериментов коэффициентам квазидиффузии; прогнозные распределения стронция-90 (A, %) в смеси глина-песок при различном их соотношении и при различной влажности от полной влагоемкости W,%, рассчитанные по полученным из экспериментов коэффициентам квазидиффузии.

Проведенные результаты исследований позволили сделать следующие выводы:

- 1) Вертикальное перераспределение цезия в предлагаемом сорбционном слое посредством квазидиффузии незначительно. При консервативной прогнозной оценке через 100 лет после начала миграции весь цезий будет находиться в верхнем 20-см слое. Даже наличие конвективного тока влаги существенно не изменит эту картину.
- 2) Вертикальное перераспределение стронция в предполагаемом сорбционном слое происходит гораздо интенсивней. Величина коэффициентов квазидиффузии этого радионуклида превосходят таковые для цезия на 2 порядка.
- 3) Радионуклиды европия, плутония, америция имеют миграционные свойства очень сходные с радиоцезием и можно с уверенностью сказать, что сорбционный слой будет надежным заслоном на пути дальнейшей миграции этих радионуклидов.

Прогноз миграции радионуклидов через инженерные барьеры. Безопасность захоронения РАО оценивается путем прогнозирования пространственно-временных полей концентрации радионуклидов, мигрирующих из зоны захоронения. Рассматривается постепенный выход радионуклидов через инженерные барьеры в окружающую природную среду. При проведении анализа функционирования хранилища использовался консервативный подход, т.е. при сохранении целостности верхнего покрытия, предполагалось полное разрушение первых двух барьеров, которые препятствуют выходу радионуклидов.

Поскольку основным катализатором и носителем радионуклидов при выходе из хранилища и миграции в окружающей природной среде (грунте) является поровая вода, оценивались концентрации радионуклидов в подземных водах.

Миграция радионуклидов из хранилища РАО через инженерные барьеры рассматривалась путем диффузионного переноса (РАО и материалы барьеров влагонепроницаемы). В хранилище в качестве барьера рассматривался нижний сорбционный слой 1м. Для большей консервативности в расчете не учитывался железобетонный материал в основании хранилища, а также принято, что зона аэрации сложена пойменными песками без глинистых прослоев, служащих естественным геохимическим барьером на пути миграции радионуклидов.

Процесс переноса радионуклидов диффузионным путем через многослойную толщу описывается уравнением (9) с начальными и граничными условиями (10):

$$D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - V_1 \frac{\partial c}{\partial x} - \lambda c = \frac{\partial c}{\partial t}, \quad (9)$$

где

$$\begin{cases} c(0, t) = c_0 e^{-\lambda t} \\ c(x, 0) = 0 \\ c(\infty, t) = 0 \end{cases} \quad (10)$$

Для построения численной модели решения задачи используется метод конечных разностей с применением явной разностной схемы по времени. Расчет производился с помощью программного обеспечения Microsoft Excel.

Миграция радионуклидов из хранилищ оценивалась по наиболее мигрирующим и значимым (с точки зрения содержания) радионуклидам – ^{90}Sr , ^{137}Cs и Pu , ^{241}Am . Из долгоживущих изотопов Pu наибольшего внимания, с точки зрения обеспечения безопасности, заслуживает прежде всего ^{239}Pu , как наиболее долгоживущий радионуклид и дающий заметный вклад в исходную альфа-активность. Его содержание в РАО принималось с запасом по сумме изотопов ^{238}Pu , ^{239}Pu и ^{240}Pu .

Начальные концентрации радионуклидов ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$, в поровой влаге РАО определялись по формуле:

$$c_0 = \frac{A_0 \gamma}{n} (1 - \exp(-k_g t)) \exp(-\lambda t), \quad (11)$$

Начальные концентрации ^{241}Am в поровой влаге ТРО определялись по формуле:

$$c_0 = [A_{01} \lambda / (\lambda_1 - \lambda) (\exp(-\lambda t) - \exp(-\lambda_1 t))] + A_0 \exp(-\lambda t) [1 - \exp(-k_g t)] \gamma / n, \quad (12)$$

где x - толщина экранирующего слоя, м; C - концентрация радионуклида в поровой влаге материала экрана, Бк/л¹; C_0 - начальная концентрация радионуклида в поровых растворах РАО, Бк/л¹; A_0 - начальная удельная активность радионуклида в РАО, кБк/г; A_{01} - начальная удельная активность ^{241}Pu в РАО, кБк/г; D - эффективный коэффициент диффузии радионуклида при вертикальном переносе радионуклида в материале экрана, м² год⁻¹; λ - постоянная распада радионуклида, год⁻¹; λ_1 - постоянная распада ^{241}Pu , год⁻¹; n - объемная влажность РАО, д.е.; γ - плотность ТРО, т м⁻³; k_g - постоянная выщелачивания РН из РАО, год⁻¹.

Уравнение решалось методом конечных разностей (использовалась явная конечно-разностная схема). Данные по удельной активности радионуклидов в этих хранилищах принималось на начало захоронения (2002 г.).

Эффективные коэффициенты диффузии (D) радионуклидов ^{90}Sr , ^{137}Cs через нижний сорбционный слой получены в результате экспериментальных исследований в колонках. Физико-механические характеристики РАО приняты по аналогии со свойствами грунтов, захороненных в ПВЛРО секторов «Нефтебаза» и «Рыжкий лес». Расчетный срок хранения РАО до момента освобождения от государственного регулирующего контроля – 300 лет.

Поскольку деллокализация радионуклидов в подобного рода хранилищах может привести к загрязнению гидросферы в качестве критерия безопасности хранилищ принята допустимая концентрация радионуклидов в питьевой воде для категории В. Результаты расчетов приведены в табл. 6 и на рис. 5.

Таблица 6 – Результаты расчета миграции РН из хранилищ РАО

Параметр	Единица	Радионуклид
----------	---------	-------------

		⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	^{239,240} Pu	²⁴¹ Am
Допустимое содержание РН в питьевой воде РС ^{ингест}	Бк/л	10	100	1	1
Максимальное распространение РН в сорбционном слое и зоне аэрации под хранилищем РАО по граничной концентрации, соответствующей РС ^{ингест} / время миграция, за которое происходит максимальное распространение РН	м/год	1,65/200	0,145/160	0,155/300	0,17/300
Максимальное распространение РН под хранилищем РАО по граничной концентрации, соответствующей РС ^{ингест} через 300 лет	м	1,5	0,1	0,155	0,17

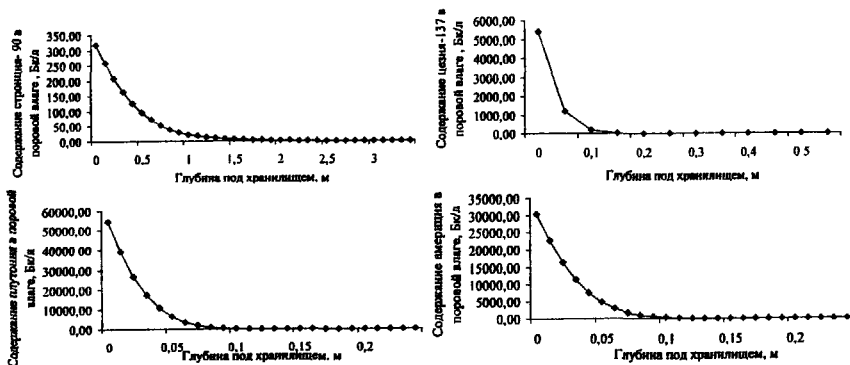


Рис. 5 – Распространение радионуклидов под хранилищем ТРО через 300 лет хранения

Максимальное проникновение под хранилищем РАО ⁹⁰Sr (по допустимой концентрации в питьевой воде РС^{ингест}) достигнет 1,65 м через 200 лет с момента захоронения, ¹³⁷Cs – на 0,145 м через 160 лет, ²³⁹Pu и ²⁴¹Am, проникнет под хранилищем на глубину 0,155 и 0,075 м соответственно через 300 лет.

По оценочным расчетам диффузионного переноса радионуклидов в период сохранения регулирующего контроля радионуклиды ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, ²³⁹Pu и ²⁴¹Am не достигнут УГВ. То есть, в течение 300 лет не ожидается превышений содержаний рассматриваемых радионуклидов в подземных водах выше допустимых уровней.

Таким образом, можно заключить, что предлагаемая конструкция хранилища, а именно наличие метрового сорбционного слоя из смеси песка и бентонитовой глины обеспечит безопасность хранения РАО как при нормальных условиях эксплуатации, так и при аварийных условиях.

Разработка рекомендаций по технологии приготовления и укладке сорбционного слоя и контролю подземных вод. В качестве сорбционного слоя выбран песок и бентонитовая глина, перемешанные в воздушно-сухом состоянии в соотношении 5:1 соответственно.

Физические свойства смоделированной смеси и результаты определения физических свойств материала сорбционного слоя использованы при разработке рабочей документации хранилищ РАО.

Сорбционный слой как основание фундаментной плиты и сама фундаментная плита рассчитаны по последним версиям программ «Мираж», «Лира», «АСИФ» и «Листопад».

Контроль за качеством работ по укладке сорбционного слоя состоит из этапов:

- наблюдение за качеством грунтов в карьере;
- наблюдение за правильностью организации работ и соблюдением технологии по укладке грунта в сорбционный слой;
- наблюдение за качеством грунта, укладываемого в сорбционный слой;
- наблюдение за своевременным удалением из сорбционного слоя грунта, признанного непригодным.

Для наблюдений за состоянием подземных вод после завершения строительных работ и перед началом заполнения хранилища на его территории создается сеть наблюдательных скважин глубиной до 24,5 м.

Конструкция наблюдательных скважин должна отвечать предъявленным к ним требованиям – водоносный горизонт должен быть надежно изолирован от возможности попадания в скважину извне атмосферных осадков, дождевых и талых вод, посторонних предметов.

Режим подземных вод контролируется до начала заполнения хранилища, в период эксплуатации и последующего мониторинга.

Радиометрические, спектрометрические и радиохимические анализы включают определения следующих радиоэлементов: ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am .

Наблюдательные скважины опробуются 1 раз в год на общий химический анализ и ежеквартально на содержание радионуклидов. Замеры уровней воды и промеры глубины скважин осуществляются ежеквартально.

В четвертой главе «Оценка безопасности захоронения РАО в приповерхностном хранилище в ЧАЭС отчуждения» подчеркивается, что безопасность захоронения РАО должна обеспечиваться путем последовательной реализации концепции глубоко эшелонированной защиты, основанной на применении: системы физических (инженерных и естественных) барьеров на пути распространения РН в окружающую природную среду, а также технических и организационных мер по защите барьеров и сохранению их эффективности.

Безопасность технологических процессов. Весь цикл технологических операций, начиная с приемки РАО в ЦПЗ, переработки и заканчивая размещением отходов в хранилищах на длительное хранение или захоронение, осуществляется под контролем службы радиационной безопасности.

В период эксплуатации хранилища существует опасность радиационного воздействия:

- ♦ внешнее ионизирующее облучение персонала;
- ♦ внутреннее облучение персонала;
- ♦ выброс радиоактивных веществ в окружающую природную среду при переработке и захоронении отходов;
- ♦ выброс радиоактивных веществ в окружающую среду после заполнения и консервации хранилищ.

Основными средствами защиты персонала является: защита расстоянием; защита временем; использование коллективных и индивидуальных средств защиты.

Определение доз текущего (планируемого) облучения персонала при выполнении захоронения РАО. Эффективная годовая доза внешнего гамма-облучения рассчитывалась по общепринятой методике. Как пример на рис. 6, приведены результаты расчетов дозовых полей от закрытых контейнеров КНПУ-10,5, заполненных отходами с удельной активностью ^{137}Cs – $8,13 \cdot 10^{-5}$ Ки/кг (3000 Бк/г). Толстой линией показаны внутренние размеры контейнера в плане, по осям X и Y – расстояние от центра контейнера, в см.

Расчеты показали, что мощность дозы на расстоянии 1,0 м от контейнеров может достигать 120 мкЗв/ч – от КНПУ-10,5 (РАО I группы), 350 мкЗв/ч – от КЗНП-6,5 (РАО II^B группы), 70 мкЗв/ч – от КЗНП-2,1 (РАО II^A группы). Это превышает допустимые

нормативные значения для целосменной работы персонала. Рекомендованная защита – исключение нахождения персонала в опасной зоне вблизи от контейнеров с РАО и создание систем дистанционного управления операциями.

Диаграмма дозовых полей над секцией хранилища ТРО-2 (РАО II^A группы) (рис. 7) показывает, что на высоте 1 м от поверхности удовлетворительное нормированному облучению место находится не ближе 5 м от открытого проема секции, а максимальная доза на линии крановщика (высота ≈ 8 м) составляет порядка 75 мкЗв/ч при открытом проеме и около 3 мкЗв/ч – при закрытой секции (последнее удовлетворяет нормативным требованиям). Для выполнения требований НРБУ-97 (мощность дозы 11,2 мкЗв/ч на рабочем месте) при закладке РАО (открытый проем секции) кабину крановщика необходимо дополнительно оборудовать защитным экраном из свинца толщиной 2,2 см или сталь толщиной 6,5 см. Такая же защита необходима крановщику при заполнении хранилища ТРО-3 контейнерами КЗНП-6,5. Альтернативой этому является система дистанционного управления подъемными кранами.

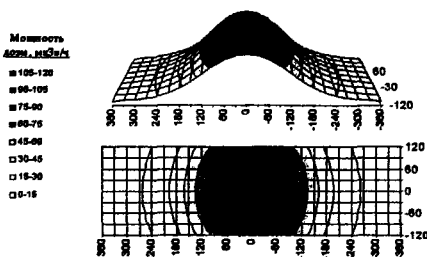


Рис. 6 – Диаграммы дозовых полей на высоте 1 м от закрытого контейнера КНПУ-10,5

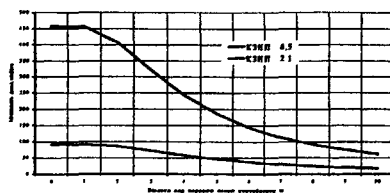


Рис. 7 – Распределение мощности дозы над открытым хранилищем ТРО-3 (Удельная активность ¹³⁷Cs – 2,71 10⁻³ Ки/кг)

Все три типа хранилищ становятся безопасными после их обваловки и перекрытия слоем песка толщиной не менее 0,7 м, что приведет к ослаблению мощности дозы гамма-излучения примерно в 100 раз.

Расчет дозы внутреннего облучения. Основным источником формирования дозы будет внутреннее облучение за счет ингаляционного поступления радионуклидов в организм. При расчетах принималось, что ингаляционное поступление радионуклидов в организм человека имеют место только при работах с открытыми РАО.

Для ЦПЗ характеристики открытых РАО следующие:

- ♦ средняя удельная активность радионуклидов $A_{уд}$: ¹³⁷Cs – 10027 Бк/г и ⁹⁰Sr – 8440 Бк/г;
- ♦ средняя плотность поверхностного загрязнения, участвующего в пылеобразовании, A_s : ¹³⁷Cs – 4,81 10⁷ Бк/м² и ⁹⁰Sr – 4,05 10⁷ Бк/м² (с учетом того, что в пылеобразование вовлекается верхний слой сыпучих РАО толщиной в среднем около 0,3 см).

Результаты расчета концентраций радионуклидов в воздухе и уровней внутреннего облучения персонала приведены в диссертации.

Оценка аварийных ситуаций в период эксплуатации хранилищ ЦПЗ. Оценка влияния деятельности хранилищ ЦПЗ на объекты окружающей среды при чрезвычайных ситуациях проводится для двух периодов:

- ♦ период эксплуатации хранилища;
- ♦ консервация и постэксплуатационное обслуживание хранилища.

Оценка аварийных ситуаций и их последствий включает в себя:

- ♦ анализ вероятности возникновения аварийных ситуаций;
- ♦ выявление характера последствий возникновения аварий.

Результаты расчета концентраций радионуклидов в воздухе и уровней внутреннего облучения персонала приведены в диссертации.

Оценка аварийных ситуаций в период эксплуатации хранилищ ЦПЗ. Оценка влияния деятельности хранилищ ЦПЗ на объекты окружающей среды при чрезвычайных ситуациях проводится для двух периодов:

- ♦ период эксплуатации хранилища;
- ♦ консервация и постэксплуатационное обслуживание хранилища.

Оценка аварийных ситуаций и их последствий включает в себя:

- ♦ анализ вероятности возникновения аварийных ситуаций;
- ♦ выявление характера последствий возникновения аварий.

Отказы транспортно-технологической системы. В этом разделе рассмотрены отказы транспортно-технологической системы на этапах транспортировки, подготовки контейнеров к захоронению и заполнения хранилищ. Анализ проведен с учетом требований СПОРО-85 и НРБУ-97. Основой анализа служат рассмотрение возможных исходных событий, влекущих за собой нарушение нормального хода технологического процесса и возникновение аварийных ситуаций.

Оценка воздействия атмосферных выбросов. При расчетах выбросов вредных веществ в атмосферу отдельного участка выбран участок сжигания, выброс которого включает радиоактивные аэрозоли, наиболее вредные химические ингредиенты, а также потенциально может включать горячие частицы. Из проведенных расчетов следует, что максимальные разовые концентрации радионуклидов в выбросах установки сжигания ЦПЗ даже в аварийных ситуациях (в случае полного выхода со строя системы газоочистки) на несколько порядков ниже предельно допустимых концентраций, предусмотренных НРБУ-97 (РС^{initial}).

При движении транспорта ЦПЗ по загрязненной почве рассматривались одновременно два процесса – выброс пыли и ее осаждение с определенной скоростью, зависящей от крупности, удельного веса частиц пыли и пр. Анализировались также последствия экстремальной аварийной ситуации (падение самолета).

Мониторинг окружающей среды. Основные положения создания системы мониторинга основываются на принятых в ЦПЗ технологиях обращения с РАО. Мониторинг должен обеспечить: устойчивость функционирования хранилища при неблагоприятных природных и техногенных условиях, повышение радиационной безопасности и снижение дозовых нагрузок на обслуживающий персонал и население.

Оценка допустимости (недопустимости) захоронения РАО в хранилищах ЦПЗ. Принятие решения по допустимости захоронения рассматриваемых РАО в хранилищах основано на результатах расчета доз потенциального облучения населения по истечению 300-летнего периода хранения при реализации критических событий, развивающихся по сценариям:

♦ *сценарий 1.* Использование питьевой воды из источника, расположенного на территории бывшего хранилища: потенциальная эффективная доза, 23,27 мЗв/год;

♦ *сценарий 2.* Радиоактивное загрязнение почвы, используемой для выращивания продуктов растениеводства: потенциальная эффективная доза, 2,055 мЗв/год;

♦ *сценарий 3.* Целостность хранилища нарушена вследствие рекультивации, экскавационных или др. земляных работ, облучение населения происходит за счет вдыхания радиоактивных аэрозолей, образующихся при ветровом или механическом подъеме остатков РАО: потенциальная эффективная доза, 1,509 мЗв/год (3а), 0,861 мЗв/год (3б), 1,290 мЗв/год (3в);

♦ *сценарий 4.* Формирование дозы облучения населения происходит за счет внешнего гамма-облучения, которое может иметь место как в случае сохранения целостности хранилища, так и при его разрушении: потенциальная эффективная доза, 1,228 мЗв/год;

♦ *сценарий 5.* Внутреннее облучение населения происходит в результате случайного заглатывания частиц радиоактивных материалов (пероральное поступление): потенциальная эффективная доза, 2,570 мЗв/год.

Анализ результатов расчета доз облучения по истечению 300 летнего периода. Расчет доз потенциального облучения при реализации критических событий, развивающихся по приведенным выше сценариям, показал, что обобщенная эффективная доза критической группы населения составила 32,783 мЗв/год и находится в интервале значений между референтными дозовыми уровнями А и Б, т.е. по истечению 300 летнего периода РАО в хранилищах ЦПЗ может быть представлено ограниченное освобождение со специальными требованиями, специфическими для зоны отчуждения ЧАЭС.

Состав работ по консервации хранилища. В процессе проектирования хранилища планируется его консервация, проводится оценка безопасности захоронения РАО на постэксплуатационном периоде его жизненного цикла. Консервация хранилища предусматривает цели выполнения требований безопасности захоронения после завершения эксплуатации (заполнения) хранилища.

Оценка воздействия на персонал и окружающую природную среду в период с момента консервации до момента освобождения РАО от государственного регулирующего контроля. Текущее облучение персонала после консервации хранилищ в период сохранения контроля органами государственного регулирования складывается из внутреннего и внешнего облучения. Предусмотренные мероприятия, исключают текущее облучение от газоаerosольных выбросов и водных сбросов и инфильтрации осадков, поскольку РАО в этот период надежно изолированы в хранилищах, в конструкции которых предусмотрены инженерные барьеры (экраны), которые препятствуют выносу радионуклидов.

Текущее облучение персонала связано только со спецификой работы в условиях зоны отчуждения ЧАЭС из-за загрязненности земной поверхности радионуклидами в результате Чернобыльской аварии.

В пятой главе "*Реализация результатов исследований*" приводятся данные проектных решений и конструкторских разработок, а также промышленных работ по временному контейнерному хранению РАО на спецкомбинатах и извлечению отходов из существующих хранилищ (Донецкий МСК "Радон") для централизованного перезахоронения.

Основные решения ТЭО создания ЦПЗ. В Центре переработки и захоронения РАО предусматривается поступление в первую очередь тех отходов, которые хранятся в настоящее время с нарушениями нормативных требований, а также вновь образующихся РАО в результате деятельности ядерной энергетики, промышленности, научных, медицинских и других учреждений и организаций.

Ожидается принять на ЦПЗ для захоронения и хранения около 2546,7 тыс. м³ твердых РАО, в т.ч. содержащих долгоживущие радионуклиды. Кроме вышеуказанных РАО, в ЦПЗ предусматривается прием на хранение отработанных источников ионизирующего излучения, передаваемых из комбинатов Укр ГО "Радон".

Длительное хранение НАО и САО с долгоживущими радионуклидами предлагается в ж/б контейнерах, расположенных в хранилищах модульного типа с гидронейтральным перекрытием (ТРО-3). Срок хранения отходов с долгоживущими РН – до пуска в эксплуатацию хранилища РАО в стабильных геологических формациях.

Создание контейнерного парка. Основные характеристики контейнеров, разрабатываемых НТЦ КОРО для обращения с радиоактивными отходами низкой и средней активности приведены в диссертации. По условиям использования их можно

распределить на следующие группы: контейнеры-сборники (КС, КСТА), контейнеры для длительного (до 10 лет) хранения отходов (КУ), контейнеры для транспортирования, хранения и захоронения низко- и среднеактивных отходов (КНПУ; КЗНЦ и КЗНП).

Разработанные контейнеры успешно прошли полный объем предварительных, приемочных и сертификационных испытаний. Заводы-изготовители контейнеров решили вопрос лицензирования производства и готовы к выпуску необходимых партий контейнеров.

Внедрение временного контейнерного хранения РАО на спецкомбинатах "Радон" до захоронения на ЦПЗ. Переход на технологию временного хранения РАО на всех МСК "Радон" осуществляется уже в настоящее время. Основой при разработке этой технологии является номенклатура наиболее распространенных радионуклидов, которые поставляются производителями отходов, и срок окончательного снятия их от регулирующего контроля.

В условиях существующей в Украине ситуации хранение РАО в контейнерах на МСК осуществляется до введения необходимых объектов на ЦПЗ/"Вектор". Реализуется также технология перезахоронения РАО из существующих хранилищ (Киевский и Донецкий МСК «Радон»).

В заключительной части главы 5 на основе анализа мировой и отечественной практики обращения с низко и среднеактивными отходами и результатов исследований определены основные направления, на которые следует сосредоточить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в Украине.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Существующая система обращения с РАО в Украине не соответствует современным требованиям по уровню технической оснащенности, организации и управления, не может гарантировать радиационную безопасность окружающей природной среды и населения. В стране на практике реализуется экономически неэффективная децентрализованная схема обращения с РАО, осуществляется несоординированная деятельность ведомств и отдельных предприятий по заказу и приобретению оборудования для переработки отходов и создания хранилищ РАО, что потребовало научных исследований о создании единого Центра переработки и захоронения РАО.
2. В результате выполненных исследований дано геоэкологическое и экономическое обоснование созданию единого центра по переработке и захоронению низко- и среднеактивных отходов всех предприятий, организаций и учреждений Украины (кроме предприятий уранодобывающей и перерабатывающей промышленности) является более целесообразным по следующим основным признакам:
 - экономические преимущества концентрации производственной деятельности по переработке РАО;
 - организационно-технические преимущества в обеспечении и обслуживании меньшего количества оборудования;
 - возможность выделения под строительство единого хранилища территорий, выведенных на долгий период из хозяйственного пользования и не находящихся в ведении местных властей;
 - лучшие условия обеспечения безопасности хранения, учета и физической защиты РАО.

Создание ЦПЗ позволит снять назревшую необходимость строительства новых мощных и дорогостоящих хранилищ РАО на отдельных АЭС или центрального предприятия по переработке и хранению РАО на ЧАЭС, которые служат только для временного хранения отходов на полный (а при существующей системе переработки и хранения – неполный) срок эксплуатации АЭС. Строительство ЦПЗ позволит постепенно освободить хранилища РАО на

существующих АЭС и создать буферную емкость для хранения отходов вновь вводимых блоков на этих АЭС без строительства собственных ХТРО и ХРО.

При централизованной схеме обращения с РАО:

- соответствующие участки (цеха) АЭС осуществляют лишь сбор и предварительную подготовку РАО;
 - МСК УкрГО «Радон» перепрофилируются в пункты сбора, подготовки, временного контейнерного хранения отходов (ПСВХ) с последующей доставкой РАО в ЦПЗ для дальнейшей переработки и захоронения,
 - предприятия зоны отчуждения проводят сбор, предварительную подготовку и транспортировку РАО в ЦПЗ.
3. В результате рассмотрения различных вариантов размещения ЦПЗ с позиции анализа социально-экономических, экологических и природных условий в районах предполагаемого размещения, а также оценки риска аварийных ситуаций научно обосновано его размещение в пределах зоны отчуждения ЧАЭС (площадка «Вектор») по следующим признакам:
- наличие основной массы РАО – в зоне, вывоз которых с ее территории запрещен.
 - соответствие природных условий требованиям, предъявляемым к условиям размещения долговременного хранилища низко- и среднеактивных отходов (подтверждено актом выбора площадки «Вектор»);
 - отсутствие в данном районе постоянного населения, хозяйственного и рекреационного использования территории;
 - возможность реализации оптимальной схемы перемещения РАО, благодаря имеющейся развитой сети транспортных коммуникаций и удобному расположению района по отношению к основным поставщикам РАО;
 - относительно меньшая степень риска при аварийных ситуациях;
 - наличие в достаточном объеме материалов геологических, гидрогеологических, а также инженерных изысканий по площадке «Вектор».
4. Научно обосновано использование централизованной схемы, предусматривающей захоронение низко- и среднеактивных отходов в Центре переработки и захоронения РАО в хранилищах приповерхностного типа, что позволит улучшить ситуацию со сбором и безопасным захоронением данной категории отходов в Украине и перейти на уровень передовых технологий. При этом доказано снижение риска обращения с РАО:
- переработка, долговременное хранение и захоронение отходов, перезахоронение их из существующих хранилищ твердых РАО МСК УкрГО «Радон» и АЭС будут осуществляться в ЦПЗ, отвечающем всем современным требованиям, что снизит число потенциальных очагов и риск распространения радионуклидов в окружающей природной среде;
 - создадутся условия для оперативного приема у поставщиков образующихся радиоактивных отходов и ликвидации временных складов этих отходов на территории предприятий;
 - транспортировка РАО будет осуществляться с использованием параметрического ряда транспортных упаковок, невозвратных защитных контейнеров и специальных транспортных средств, отвечающих требованиям ПБТРВ-73 и международным нормам;
 - на основе исследования разработана многобарьерная инженерная система изоляции РАО в хранилище, включающей первичную упаковку или матрицу, невозвратный защитный контейнер повышенной надежности, наполнитель пустот в контейнере в виде цементного раствора или природного сорбента, железобетонный корпус секции, наполнитель пустот в секции, противодиффузионный экран, пластовой дренаж с

системой очистки инфильтрационных вод, гидроизоляционный многослойный защитный экран, перекрывающий секции хранилища после заполнения и консервации.

5. В диссертации выполнены обладающие научной новизной работы:

- обоснование конструкции модульных хранилищ РАО и системы инженерных барьеров;
- исследования воздействия отходов на окружающую природную среду, персонал и население при сооружении и заполнении хранилища и в постэксплуатационный период, отличающиеся тем, что они выполнены для конкретных условий зоны отчуждения ЧАЭС;
- исследования влияния РАО на инженерные барьеры, переноса нуклидов, изучение геохимических процессов, что дало возможность оптимизировать инженерную барьерную систему для существующих условий;
- экспериментальные исследования для определения защитных свойств сорбционного слоя по отношению к миграции радионуклидов, а также изучение изменения этих свойств в зависимости от состава и влажности. Использование экспериментальных данных позволило оценить и выбрать состав защитного слоя и его параметры для предотвращения миграции радионуклидов в зоне аэрации и исключения поступления их в грунтовые воды.
- предложена сеть наблюдательных скважин и регламент их контроля для своевременного принятия мер по предотвращению загрязнения грунтовых вод;
- рекомендована адаптация математической гауссовой модели к конкретным условиям распределения примесей в атмосфере при расчетах распространения радионуклидов от точечных источников выбросов;
- проведена экономическая оценка целесообразности использования отдельных процессов переработки РАО в зависимости от вида и объемов их поступления с учетом дальнейшего захоронения.

6. На основании изложенного в диссертации материала можно заключить следующее:

- впервые выполнен расчет миграции радионуклидов с помощью программы PAGAN из хранилища при отсутствии барьеров, прогнозные концентрации стронция-90 в грунтовых водах под хранилищами превышают питьевой норматив согласно НРБУ-97 (10 Бк/л) в несколько раз из-за его высокой миграционной способности и низких сорбционных свойств подстилающих грунтов. Однако на расстоянии первых десятков метров от хранилища концентрация в грунтовых водах уже не превысит допустимые концентрации вследствие дисперсии и радиоактивного распада. Прогнозные концентрации цезия-137 и плутония-239,240 в грунтовых водах под хранилищем составляют не более 10-4 Бк/л, что не превышает питьевой норматив согласно НРБУ-97 (по цезию-137 - 100 Бк/л, по плутонию - 1Бк/л). Таким образом, при возможном поступлении атмосферных осадков внутрь хранилищ создается угроза выноса ^{90}Sr в зону аэрации а также загрязнения грунтовых вод, т. е. необходимо сооружение дополнительного защитного барьера в основании хранилища ТРО;
- впервые выполненные экспериментальные исследования сорбционного слоя показали, что величина квазидиффузии ^{137}Cs в слое очень низкая, т. е. даже при консервативной прогнозной оценке цезий будет закреплён в верхней его части. При полной влажности скорость квазидиффузии ^{137}Cs увеличивается с уменьшением количества глины в смеси, сама величина квазидиффузии изменяется незначительно;
- в результате исследований еще раз подтвержден тот факт, что перераспределение ^{90}Sr происходит гораздо интенсивнее, чем ^{137}Cs . Впервые оценены значения этих коэффициентов для различных смесей песка и бентонитовых глин. Коэффициенты квазидиффузии ^{90}Sr превосходят таковые для ^{137}Cs на два порядка величин. Положительная роль глин при удержании ^{90}Sr отмечается лишь при небольшой влажности смеси;
- консервативная прогнозная оценка диффузионного переноса в многослойной толще, выполненная с помощью программы VIOLA, показала, что наличие сорбционного слоя

позволит “удержать” наиболее подвижный ^{90}Sr в пределах основания хранилищ и предотвратить распространение радионуклида в зоне аэрации. По оценочным расчетам диффузионного переноса сделан вывод о том, что радионуклиды не достигнут УГВ. Таким образом, можно заключить, что предлагаемая конструкция хранилищ, а именно наличие метрового сорбционного слоя из смеси песка и бентонитовой глины обеспечит безопасность хранения РАО как при нормальных условиях эксплуатации, так и аварийных. Материалы оценки воздействия на окружающую среду входят в состав технико-экономического обоснования инвестиций комплекса производств «Вектор»;

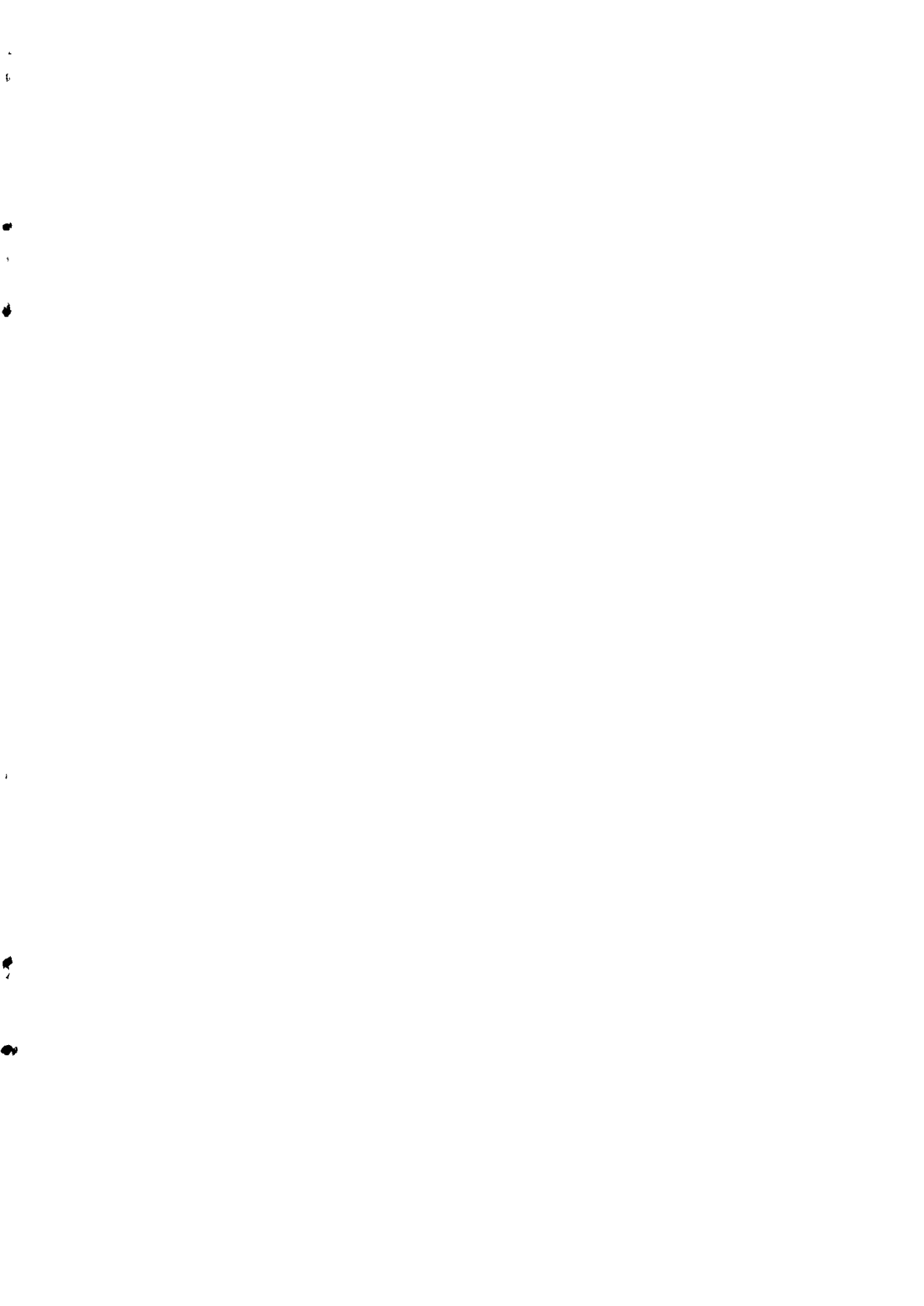
- экспериментальные исследования сорбционного слоя показали, что величина квазидиффузии радионуклидов определяется, при прочих равных условиях, влажностью смеси. Она максимальна при полной влагоемкости в веществе с минимальной пористостью. Для уменьшения величины квазидиффузии ^{90}Sr в сорбционном слое рекомендуется предусмотреть сооружение его (приготовление и укладку) с минимальной влажностью;
 - в качестве мероприятий по обеспечению безопасного функционирования хранилищ (кроме создания многобарьерной системы) рекомендована сеть наблюдательных скважин. Контроль состояния грунтовых вод позволит своевременно принять меры по предотвращению распространения радионуклидов в окружающую среду. Разработанная сеть скважин реализована в настоящее время при строительстве I очереди пускового комплекса «Вектор».
7. В результате проведенных исследований получен комплекс сведений, позволяющий системно и целенаправленно выполнять работы при подготовке решений о надежной изоляции твердых и отвержденных НАО и САО в приповерхностных сооружениях, что даст возможность практически улучшить экологическую обстановку и значительно снизить радиационную нагрузку в районах накопления РАО.

Таким образом, впервые на территории Украины обоснована и реализуется идея централизованного хранилища, сочетающая в себе существующую сеть сбора РАО межобластными спецкомбинатами «Радон» и АЭС и современную базу их переработки и захоронения по самым передовым технологиям.

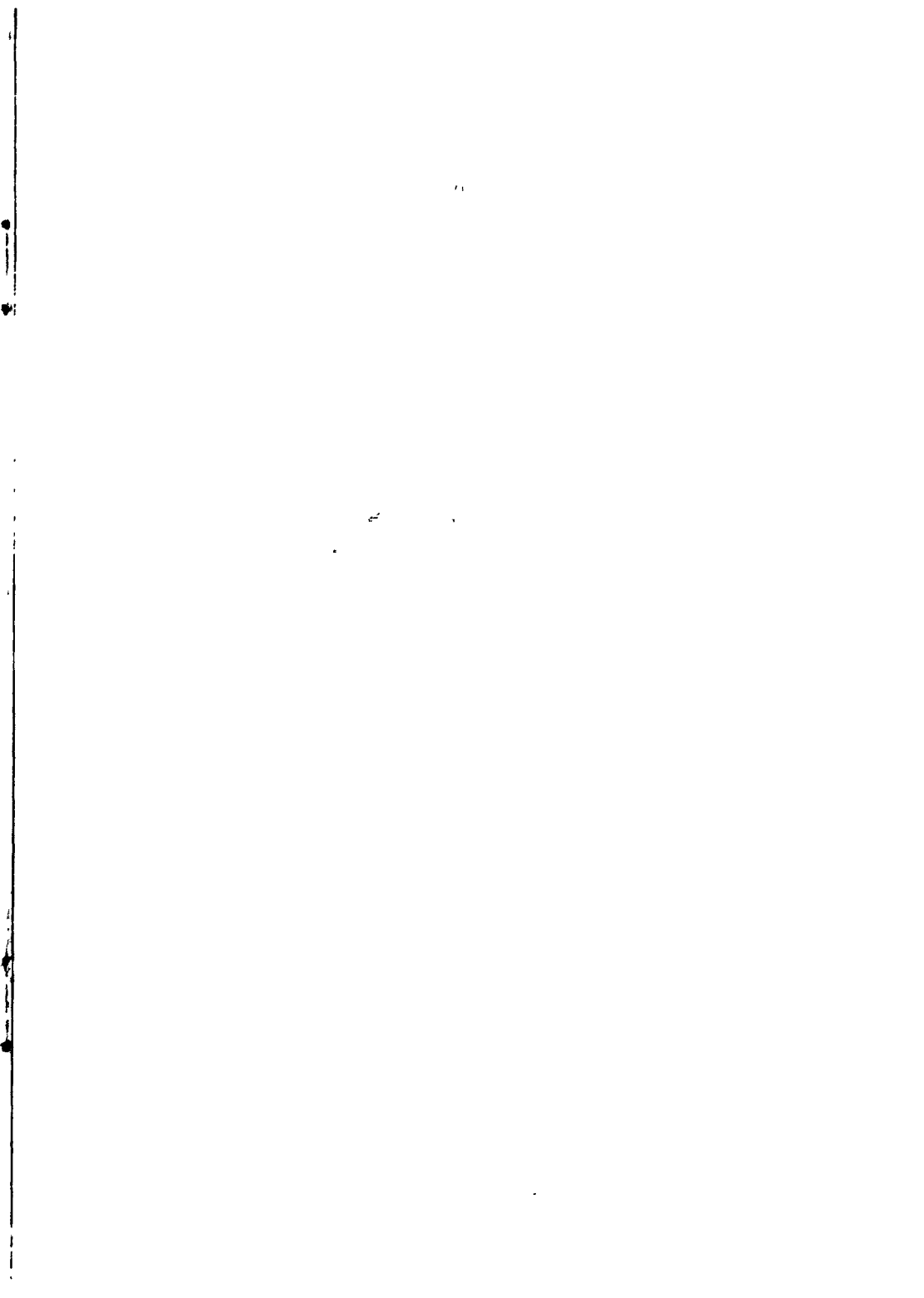
Полученные результаты позволяют рекомендовать их к использованию для аналогичных работ в странах СНГ и дальнего зарубежья.

СПИСОК ПЕЧАТНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. *Авдеев О.К., Кретинин А.А., Леденев А.И. и др.* "Радиоактивные отходы Украины: состояние, проблемы, решения" (Монография). Киев: ИЦ "ДрУк", 2003.
2. *Кретинин А.А., Животенко А.Н., Леденев А.И.* Создание Национального центра переработки и захоронения РАО – важнейшее звено в обеспечении экологической безопасности атомной энергетики страны. Доклад на третьем Международном энергоэкологическом конгрессе «Энергетика, Экология, Человек», Киев, март 2003. Опубликован в «Энергоинформ» № 9 (191). – 2003.
3. *Кретинин А.А.* Создание Национального центра переработки, хранения и захоронения радиоактивных отходов Украины. Материалы IV Международного симпозиума «Безопасность жизнедеятельности в XXI веке. Днепропетровск, январь 2004.
4. *Кретинин А.А., Удод В.В., Мельниченко В.М.* НТЦ КІРВ у галузевій науці МНС. Ж. "Технополис", Днепропетровск, июль 2001.
5. *Кретинин А.А., Ермолин Г.А., Авдеев О.К., Коваленко В.Н.* Контейнеризация процессов обращения с радиоактивными и токсичными отходами. Ж. "Технополис", Днепропетровск, декабрь 2003.
6. *Кретинин А.А., Кухтин В.В., Леденев А.И.* Реализация I этапа Программы перепрофилирования ПЗРО спецкомбинатов Укр ГО «Радон» в пункты временного хранения РАО в контейнерах.
7. *Громок Л.И., Кретинин А.А., Удод В.В. и др.* "Долговременное хранение и захоронение отработанных источников ионизирующего излучения в Украине". (Монография). Киев: ИЦ "ДрУк", 2001.
8. *Кретинин А.А., Котельников В.В., Леденев А.И., Овчаров П.А.* Обеспечение радиационной безопасности при проведении работ по приему на хранение выработавших свой срок радиоизотопных термоэлектрических генераторов. Материалы IV Международного симпозиума «Безопасность жизнедеятельности в XXI веке. Днепропетровск, январь 2004.
9. *Кретинин А.А., Сурай В.В., Котельников В.В.* Оценка объемной активности радионуклидов в воздухе при проведении работ по перезахоронению РАО из хранилища ДКЗХИ. Материалы IV Международного симпозиума «Безопасность жизнедеятельности в XXI веке. Днепропетровск, январь 2004.
10. *Кретинин А.А., Мишунина И.Б.* Прогноз влияния хранилищ РАО комплекса «Вектор» на окружающую среду после их консервации. Материалы IV Международного симпозиума «Безопасность жизнедеятельности в XXI веке. Днепропетровск, январь 2004.
11. *Кретинин А.А.* Влияние хранилищ радиоактивных отходов на окружающую среду. Информационно-аналитический бюллетень. ^Москва НИА-ПРИРОДА, 2004. – № 3. – С. 97.



Лицензия №020849 от 04.01.94 г.
Пописано в печать 15 11 01 г. Печ. л 1 Тираж 100 экз Редакционно-издательский отдел МГТРУ



РНБ Русский фонд

2006-4

26511

19 ИЮН 2004