Содержание

Реферат

Введение

Ещё в середине прошло столетия развитие транспорта, промышленности сельского и коммунального хозяйства требует всё большего увеличения производства энергии. Также встают острые проблемы нехватки и истощения органического топлива, повышения загрязнения окружающей среды и увеличения нагрузки на биосферу; возникает возможность появления энергетического кризиса.

Ключом к решению данных проблем становится атомная энергетика. Атомная энергетика не требует потребления кислорода в отличие традиционных источников энергии. При правильной и грамотной эксплуатации атомных электростанций имеет минимальное количество выбросов и отходов. Огромный энергетический потенциал, заключённый в ядерный материалах, может надолго обеспечить человечество чистой энергией, что даёт необходимые ресурсы для обеспечения развития всех отраслей промышленности и решения проблем нехватки энергетических ресурсов.

По всему земному шару атомные электростанции доказывает свою энергетическую эффективность. Отличительной особенностью является её высокая конкурентоспособность, безопасность и экологическая чистота.

Но главной проблемой атомной энергетики, а именно АЭС, является образование различных по агрегатному состоянию и удельной активности радиоактивных отходов. Радиоактивное излучение, или радиация, от таких отходов представляет огромную опасность для человека и окружающей природной среды. При контакте с живым организмом радиация способна накапливаться в нём, вызывая повреждении тканей и органов, а при длительном воздействии - смерть. Также продукты радиоактивного распада способны переноситься на огромные расстояния воздушными массами, увеличивая площадь радиоактивного загрязнения. Радиоактивные элементы аккумулируются в растительности, почве, проникают в грунтовые воды.

Чтобы защитить окружающую среду и человека, обеспечить безопасность при обращении с радиоактивными отходами, были разработаны специальные мероприятия по сбору и изоляции радиоактивных отходов.

Целью данной работы является анализ методов переработки и утилизации твёрдых и жидких радиоактивных отходов.

Задачами данной работы является:

* изучение понятия радиации, радиоактивных отходов и их классификации;
* изучение опыта и концепций обращения стан Евросоюза и США;
* анализ и изучение законодательства Российской Федерации в сфере обращения с радиоактивными отходами;
* изучить методы обращения с твёрдыми и жидкими радиоактивными отходами;
* рассмотреть основные концепции хранилищ РАО;
* рассмотреть виды окончательного захоронения РАО.

1. Понятие о радиации и радиоактивных отходах

**1.1 Термины и определения**

Радиоактивность - процесс самопроизвольного превращения неустойчивого изотопа одного химического элемента в изотоп другого элемента, который сопровождается выделением ядер и элементарных частиц [1].

Альфа-частицы (б-частицы) - ядра атома гелия, испускаемые при альфа-распаде некоторыми радиоактивными атомами. б-частица состоит из двух протонов и двух нейтронов [2].

Альфа-излучение - поток ядер атомов гелия (положительно заряженных и относительно тяжелых частиц) [2].

Бета-частицы (в-частицы) - электроны и позитроны, испускаемые ядрами атомов при бета-распаде [2].

Бета-излучение - это электроны или позитроны, которые образуются при бета-распаде различных элементов от самых легких (нейтрон) до самых тяжелых [3].

Гамма-излучение - вид электромагнитного излучения с малой длинной волны, сопровождающееся испусканием фотонов [3].

Радиоактивные отходы (РАО) - не предназначенные для дальнейшего использования вещества в любом агрегатном состоянии, в которых содержание радионуклидов превышает минимальные значения, установленные федеральными нормами и правилами [4].

Жидкие радиоактивные отходы - РАО в виде вод и других жидкостей, содержащие растворенные или в виде взвесей радиоактивные вещества, активность которых превышает минимальные значения, установленные федеральными нормами и правилами [4].

Твердые радиоактивные отходы - РАО в виде изделий, материалов, твердых веществ и твердых биологических объектов, активность которых превышает минимальные значения, установленные федеральными нормами и правилами [4].

Активность радиоактивного источника - ожидаемое число элементарных радиоактивных распадов в единицу времени [2].

Удельная активность радионуклидов - активность, приходящаяся на единицу массы вещества источника. Измеряется в беккерелях на килограмм (Бк/кг). В образце с активностью 1 Бк происходит в среднем 1 распад в секунду [2].

Обращение с радиоактивными отходами - комплекс технологических и др. различных организационных мероприятий, включающий сбор, переработку, кондиционирование, транспортирование, хранение и захоронение радиоактивных отходов [4].

Кондиционирование - перевод радиоактивных отходов в форму, пригодную для транспортирования, хранения и захоронения [4].

Хранение - процесс размещения радиоактивных отходов в хранилище с обеспечением изоляции их от окружающей природной среды, с возможностью их последующего извлечения [4].

Захоронение - процесс помещения обработанных и кондиционированных радиоактивных отходов в специальные могильники без возможности дальнейшего извлечения [4].

Могильник - искусственное сооружение или естественное геологическая формация для захоронения радиоактивных отходов [4].

Контейнер - ёмкость для радиоактивных отходов, используемая для удобства их транспортирования, хранения и захоронения [4].

Переработка радиоактивных отходов - комплекс технологических процессов, направленных на уменьшение объёма образовавшихся радиоактивных отходов или перевод их в другую форму [4].

Отверждение радиоактивных отходов - перевод жидких радиоактивных отходов в твёрдое агрегатное состояние с целью уменьшения возможности миграции или рассеяния радионуклидов [4].

Матричный материал - материал, используемый для перевода радиоактивных отходов в монолитную структуру [5].

Битумирование - включение радиоактивных отходов в битумный матричный материал с последующим затвердеванием продукта [4].

Цементирование - включение радиоактивных отходов в цементный матричный материал с последующим затвердеванием продукта [4].

Остекловывание - перевод радиоактивных отходов в стеклоподобную форму [4].

Компаунд - радиоактивные отходы, включённые в матричный материал [5].

Приповерхностное захоронение радиоактивных отходов - захоронение радиоактивных отходов в специальных сооружения, которые размещаются на поверхности земли или на глубине от нескольких метров до ста метров [4].

Буферный материал - такой материал, который используется для ограничения доступа атмосферных осадков и подземных вод к упаковкам радиоактивных отходов и снижения скорости попадания радионуклидов из упаковок отходов в окружающую среду. В качестве такого материала обычно используют бетон, глину или битум [6].

Подстилающий экран - инженерное устройство, которое располагается ниже ячеек захоронения радиоактивных отходов и предназначается для гидроизоляции ячеек, предотвращения распространения радионуклидов в несущие горные породы и от проникновения животных и корней растений [6].

Сорбция - процесс поглощение веществом в твёрдом или жидком агрегатном состоянии (сорбентом) другого вещества из внешней среды [7].

Обратный осмос - процесс фильтрования растворов через полупроницаемую мембрану под давлением в обратном для осмоса направлении [7].

Ультрафильтрация - процесс фильтрования различных растворов под давлением через полупроницаемую мембрану; на мембране задерживаются частицы размером 0,01 мкм [7].

Электродиализ - электрохимический процесс избирательного переноса ионов через полупроницаемую мембрану под действием тока [7].

Ионный обмен - обратимый процесс обмена ионами между электролитом (жидкая фаза) и ионитом (твёрдая фаза) [7].

Кальцинация - обработка жидких радиоактивных отходов высокой температурой, сопровождающаяся разложением солей и образованием устойчивых соединений [4].

Выдержка - хранение радиоактивных отходов в специальных ёмкостях для снижения их радиоактивности и выделения тепла [4].

Упаковка радиоактивных отходов - контейнер с помещёнными в него иммобилизованными радиоактивными отходами [5].

**1.2 Радиоактивность. Виды радиоактивности**

Радиоактивностью называют процесс самопроизвольного превращения неустойчивого изотопа элемента в изотоп другого, сопровождающийся выделением элементарных частиц, ядер и энергии [1].

Радиоактивность бывает естественной и искусственной. К естественным источникам радиоактивности относят космическое излучение и излучение от естественных радионуклидов, которые рассеяны в гидросфере, литосфере и атмосфере. К искусственным источникам относят радиоактивные элементы, образующиеся в результате деятельности человека - радиоактивные отходы атомных электростанций, горнодобывающая промышленность, ядерное оружие и его испытания [8].

В СИ активность нуклида измеряют в Беккерелях (Бк), а внесистемной единицей является Кюри (КИ). 1 Бк = 2,7 · 10-11 КИ [8].

Различают альфа-, бета-, гамма-, нейтронное, протонное и другие излучения.

Альфа-излучение представляет собой поток двукратно ионизированных ядер гелия. Альфа-частицы имеют положительный заряд и скорость распространения около 2 · 104 км/с, а также большой энергией 2-11 МэВ. Известно более 160 альфа-активных видов ядер. Альфа-частицы образуются в момент радиоактивного распада при взаимодействии двух протонов и двух нейтронов, движущихся внутри ядра. В результате альфа-распада, по правилу смещения, образуется химический элемент, смещённый влево на две клетки таблицы Менделеева. Альфа-частица, проходя через вещество, быстро теряет свою энергию, взаимодействуя с отрицательными частицами и электронами атомов вещества [9].

Бета-излучение представляет собой распад радиоактивных элементов с испусканием позитронов и электронов. Если в ядре находится больше нейтронов, то происходит электронный бета-распад - один из нейтронов превращается в протон, а ядро испускает электрон и антинейтрино.

Если же в ядре имеется больше протонов, то происходит позитронный бета-распад. Такой распад сопровождается образованием нового химического элемента, который расположен на одно поле влево от изначального. Взаимодействие выпущенных электронов с контактируемым веществом вызывает ионизацию и возбуждение атомов вещества. Глубина проникновения бета-излучения меньше, чем альфа-излучения, в виду отклонения частиц от изначального пути из-за отталкивания одноимённых зарядов. Бета-излучение распространяется со скоростью 3· 106 км/с [10].

Гамма-излучение представляет собой поток фотонов с высокой энергией и с чрезвычайно малой длиной волны; не содержат заряженных частиц. Гамма-излучение испускается при ядерных реакциях и при переходах между возбуждёнными состояниями атомных ядер, например, при изомерном переходе. Такое излучение характеризуется высокой проникающей способностью и при контакте с веществом вызывает ионизацию его атомов. Гамма-излучение не является самостоятельным видом распада, лишь сопровождает альфа- и бета-распады [7].

**1.3 Опасность радиации для окружающей среды и человека**

Различные виды радиации взаимодействуют с веществом по-разному в зависимости от типа испускаемых частиц, их заряда, массы и энергии. Заряженные частицы при контакте с определённым веществом ионизируют атомы этого вещества, взаимодействуя с атомными электронами. Нейтроны и гамма-кванты при столкновении с заряженными частицами в веществе передают им свою энергию, а в случае воздействия гамма-квантов возможно рождение электрон-позитронных пар. Эти вторичные заряженные частицы, тормозясь в веществе, вызывают его ионизацию [11].

Воздействие ионизирующего излучения на вещество на промежуточном этапе приводит к образованию быстрых заряженных частиц и ионов. Радиационные повреждения вызываются в основном этими вторичными частицами, так как они взаимодействуют с большим количеством атомов, чем частицы первичного излучения. В конечном итоге энергия первичной частицы трансформируется в кинетическую энергию большого количества атомов среды и приводит к ее разогреву и ионизации [12].

В органах и тканях биологических объектов, как и в любой среде, при облучении в результате поглощения энергии идут процессы ионизации и возбуждения атомов. Эти процессы лежат в основе биологического действия излучений. Его мерой служит количество поглощенной в организме энергии [12].

По силе наносимых повреждений в клетке и по плотности выделения энергии на единицу расстояния, которую пройдёт элементарная частица или волна, все виды радиации значительно варьируются. Например, альфа-частицы, обладая большой массой, создают крайне высокую плотность ионизации, а лёгкие выбитые гамма-излучением электроны образуют зону низкой плотности ионизации. В зависимости от всего этого различные по массе частицы могут вызывать различные биологические эффекты [11].

В реакции организма на облучение можно выделить четыре фазы. Длительность первых трёх быстрых фаз не превышает единиц микросекунд, в течение которых происходят различные молекулярные изменения. В четвёртой медленной фазе эти изменения переходят в функциональные и структурные нарушения в клетках, органах и организме в целом [12].

Первая физическая фаза ионизации и возбуждения атомов длится 10-13 секунд. Во второй, химико-физической фазе, протекающей 10-10 секунд, образуются высокоактивные в химическом отношении радикалы, которые, взаимодействуя с различными соединениями, дают начало вторичным радикалам, имеющим значительно большие по сравнению с первичными сроки жизни. В третьей, химической фазе, длящейся 10-6 с, образовавшиеся радикалы, вступают в реакции с органическими молекулами клеток, что приводит к изменению биологических свойств молекул [12].

Описанные процессы первых трёх фаз являются первичными и определяют дальнейшее развитие лучевого поражения. В следующей за ними четвёртой, биологической фазе химические изменения молекул преобразуются в клеточные изменения. Наиболее чувствительным к облучению является ядро клетки, а наибольшие последствия вызывает повреждение ДНК, содержащей наследственную информацию. В результате облучения в зависимости от величины поглощённой дозы клетка гибнет или становится неполноценной в функциональном отношении. Время протекания четвёртой фазы очень различно и в зависимости от условий может растянуться на годы или даже на всю жизнь [11].

Бета-излучение обладает большей проникающей способностью. Пробег бета-частиц в воздухе может достигать нескольких метров, а в биологической ткани нескольких сантиметров. Так пробег электронов с энергией 4 МэВ в воздухе составляет 17,8 м, а в биологической ткани 2,6 см [12].

Гамма-излучение имеет еще более высокую проникающую способность. Если внешнее альфа-излучение и бета-излучение поглощается, как правило, в одежде или коже и представляет в основном опасность при попадании радионуклидов внутрь организма, то при внешнем гамма облучении его воздействию подвергается весь организм. Это с одной стороны требует специальных мер защиты от гамма-излучения, а с другой позволяет использовать его в разнообразных методах дистанционной диагностики [12].

Эффекты воздействия радиации на человека обычно делятся на две категории [12]:

- соматические (телесные) ? возникающие в организме человека, который подвергался облучению. Наиболее яркими примерами такого эффекта являются лучевые болезни, лейкозы, локальные лучевые поражения и опухоли;

генетические ? связанные с повреждением генетического аппарата и проявляющиеся в последующих поколениях: это дети, внуки и более отдаленные потомки человека, подвергшегося облучению. Примерами являются генные мутации и хромосомные абберации.

Различают также несколько типов биологических повреждений, которые вызваны радиацией:

физический - электроны нарушают молекулярные связи прямо в структуре, в которой они были выбиты. Данное взаимодействие протекает очень быстро и вызывает повреждение ДНК в ядрах клеток, что приводит к мутациям и различным нарушениям. Такой тип повреждений также называют «пулеобразным»;

химический - основной ущерб наносится различными реакционными частицами, образовавшимися вне данной структуры, но приблизившейся при блуждании. Такой тип повреждений также называют косвенным [13].

При физическом типе повреждения тяжёлая частица, в отличие от лёгкой, разрывает нити ДНК с гораздо большей вероятностью. Но при химическом типе повреждения лёгкие частицы при прохождении через клетку создают низкую концентрацию ион-радикалов, то есть являются более опасными, чем тяжёлые частицы. Чем концентрация радикалов на участке пути ионизирующей частицы меньше, тем меньше происходит реакций рекомбинаций между радикалами и, как следствие, больше путь блуждающего радикала, который с большей вероятностью может повредить клеточную структуру [13].

Альфа-излучающие нуклиды, такие как торий, уран и радий, Международной комиссией по радиологической защите признаны наиболее опасными и токсичными из всех остальных радиоактивных элементов [14]

Можно выделить несколько ситуаций опасного контакта человека с радиоактивными отходами [15]:

непосредственная близость человека к радиоактивным отходам, например, близость места проживания населения от дорог, по которым производится транспортирование радиоактивных отходов, или от объектов обращения с высокоактивными отходами (хранилища, крупные атомные электростанции);

контакт персонала (или случайный контакт) с радиоактивными отходами;

транспортные аварии, утечки из контейнеров, неправильное обращение, нарушение техники безопасности при обращении;

нахождение человека внутри хранилищ радиоактивных отходов.

Окончательное захоронение радиоактивных отходов даже с соблюдением всех правил и норм по защите, применением новейших технологий в сфере обращения с радиоактивными отходами не даёт стопроцентной гарантии безопасности [15].

**1.4 Классификация радиоактивных отходов**

С точки зрения возможной опасности радиоактивные отходы классифицируются по различным параметрам. В целях Федерального закона от 11 июля 2011 г. № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» радиоактивные отходы подразделяются на удаляемые РАО и особые РАО [16].

Удаляемые радиоактивные отходы - радиоактивные отходы, для которых риски, связанные с радиационным воздействием, а также затраты, связанные с извлечением таких радиоактивных отходов из пункта хранения радиоактивных отходов, последующим обращением с ними, в том числе захоронением, не превышают риски и затраты, связанные с захоронением таких радиоактивных отходов в месте их нахождения [16].

Особые радиоактивные отходы - радиоактивные отходы, для которых риски, связанные с радиационным воздействием, а также затраты, связанные с извлечением таких радиоактивных отходов из пункта хранения радиоактивных отходов, последующим обращением с ними, в том числе захоронением, превышают риски и затраты, связанные с захоронением таких радиоактивных отходов в месте их нахождения [16].

Удаляемые радиоактивные в зависимости от периода полураспада содержащихся в радиоактивных отходах радионуклидов подразделяются на долгоживущие радиоактивные отходы, короткоживущие радиоактивные отходы [16].

В зависимости от удельной активности - высокоактивные радиоактивные отходы, среднеактивные радиоактивные отходы, низкоактивные радиоактивные отходы, очень низкоактивные радиоактивные отходы [16].

В зависимости от агрегатного состояния - жидкие радиоактивные отходы, твердые радиоактивные отходы, газообразные радиоактивные отходы [16].

В зависимости от содержания ядерных материалов - радиоактивные отходы, содержащие ядерные материалы, радиоактивные отходы, не содержащие ядерных материалов [16].

Также по виду преобладающего излучения радиоактивные отходы подразделяются на альфа-излучатели, бета-излучатели и гамма-излучатели [2].

Согласно ОСПОРБ-99/2010, по удельной активности твёрдые радиоактивные отходы подразделяются на очень низкоактивные, низкоактивные, среднеактивные и высокоактивные (таблица 1.1) [17].

Таблица 1.1 Классификация твёрдых радиоактивных отходов по удельной активности ОСПОРБ-99/2010

|  |  |
| --- | --- |
| Категория отходов | Удельная активность, кБк/кг |
| Альфа-излучающие радионуклиды | Бета-излучающие радионуклиды | Трансурановые радионуклиды |
| Очень низкоактивные | до | до | до |
| Низкоактивные | от  до | от  до | от  до |
| Среднеактивные | от  до | от  до | от  до |
| Высокоактивные | более | более | более |

Согласно ОСПОРБ-99/2010, по удельной активности жидкие радиоактивные отходы разделяются на низкоактивные, среднеактивные и высокоактивные (таблица 1.2) [17].

Таблица 1.2 Классификация жидких радиоактивных отходов по удельной активности ОСПОРБ-99/2010

|  |  |
| --- | --- |
| Категория отходов | Удельная активность, кБк/кг |
| Альфа-излучающие радионуклиды | Бета-излучающие радионуклиды | Трансурановые радионуклиды |
| Низкоактивные | до | до | до |
| Среднеактивные | от  до | от  до | от  до |
| Высокоактивные | более | более | более |

Также для предварительной сортировки твёрдых радиоактивных отходов применяются критерии по уровню радиоактивного загрязнения и по мощности дозы гамма-излучения на расстоянии 0,1 м от поверхности: низкоактивные - от 0,001 мГр/ч до 0,3 мГр/ч, среднеактивные - от 0,3мГр/ч до 10 мГр/ч, высокоактивные - более 10 мГр/ч. Классификация РАО по уровню радиоактивного загрязнения приведена в таблице 1.3 [18].

|  |  |
| --- | --- |
| Категория отходов | Уровни радиоактивного загрязнения, част/(см2 · мин) |
| Бета-излучающие радионуклиды | Альфа-излучающие радионуклиды | Трансурановые радионуклиды |
| Низкоактивные | от 5 до | от 5 ·  до | от 5 до |
| Среднеактивные | от  до | от  до | от  до |
| Высокоактивные | более | более | более |

Таблица 1.3 Классификация радиоактивных отходов по уровню радиоактивного загрязнения

Также жидкие радиоактивные отходы в зависимости от количества химических компонентов классифицируются на гомогенные и гетерогенные; по составу - органические (радиоактивные масла, растворы детергентов) и неорганические [16].

Международное агентство по атомной энергетике (МАГАТЭ) представляет собой международную организацию, которая создана для сотрудничества в области невоенного использования атомной энергии. У МАГАТЭ существует собственная классификация радиоактивных отходов, в основе которой лежит длительность распада радионуклидов, так как требования к методам и технологиям захоронения данных отходов определяется временем, в течение которого радиоактивных отходы представляют опасность для окружающей среды и человека [19].

Согласно классификации, радиоактивные отходы подразделяются на следующие категории:

Освобождаемые от контроля отходы - это такие отходы, которые могут быть освобождены от регулирующего контроля из-за низкой радиологической опасности. Такая опасность определяется пределами содержания радионуклидов для данной категории.

Низкоактивные и среднеактивные отходы - отходы, содержащие такое количество нуклидов, при котором необходимы меры для защиты населения. Данная категория включает в себя две группы отходов: отходы, содержащие короткоживущие и долгоживущие радионуклиды.

Высокоактивные отходы - это такие отходы, которые содержат на столько большие количества радионуклидов, что в течение значительного периода времени необходима их надежная изоляция от биосферы. При обращении требуют наличия биологической защиты и охлаждения [19].

В зависимости от способа захоронения и утилизации МАГАТЭ предлагает следующую классификацию (таблица 1.4) [19].

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Категория | Характеристика | Метод захоронения |
| Не подлежащие контролю радиоактивные отходы | Радиоактивные вещества, которые отвечают критериям выведения из сферы регулирования, изъятия или исключения | Без ограничений |
| Очень короткоживущие радиоактивные отходы | РАО, которые могут храниться с целью снижения активности до уровней выведения в течение ограниченного периода времени с последующим выведением из сферы регулирования безопасности. К этой группе относятся РАО, содержащие в основном радионуклиды с небольшим периодом полураспада | Неконтролируемое захоронение, использование, сброс в водоём |
| Очень низкоактивные радиоактивные отходы | Отходы, не требующие высокого уровня изоляции, но не удовлетворяющие критериям выведения | Захоронение в приземных хранилищах |
| Низкоактивные радиоактивные отходы | Отходы, содержащие небольшое количество долгоживущих радионуклидов с активность, которая выше уровня выведения | Захоронение в приповерхностных хранилищах (глубина захоронения (30ч60) м) |
| Среднеактивные радиоактивные отходы | Отходы, содержащие долгоживущие радиоактивные элементы (альфа-излучатели), требующие повышенного уровня изоляции | Захоронение в приповерхностных хранилищах (глубина захоронения (60ч200) м) |
| Высокоактивные радиоактивные отходы | Отходы с большим количеством высокоактивных или долгоживущих радионуклидов | Захоронение в глубоких геологических формациях (глубина захоронения более 400 метров) |

Таблица 1.4 Классификация радиоактивных отходов (по рекомендации МАГАТЭ) в зависимости от способа захоронения и утилизации

Также МАГАТЭ рекомендует классифицировать твердые радиоактивные отходы отдельно по четырём категориям: в первых трёх допускается незначительное количество альфа-излучателей, а в четвёртую включаются в основном только альфа-излучатели (таблица 1.5) [19].

|  |  |
| --- | --- |
| Категория | Мощность дозы Р на поверхности отходов, Бк/кг1Р |
| 1 |  |
| 2 |  |
| 3 |  |
| 4 | Нет данных |

Таблица 1.5 Классификация радиоактивных отходов в зависимости от мощности дозы на поверхности отходов

**1.5 Твердые радиоактивные отходы**

К твёрдым радиоактивным отходам относят загрязнённые радионуклидами инструменты, приборы, материалы, образующиеся в результате эксплуатации и ремонта ядерных установок и приборов; вышедшее из строя оборудование, изношенные детали и части оборудования, материалы, строительные загрязнённые материалы, мусор, кабели, средства индивидуальной защиты и спецодежда; ветошь, теплоизоляционные и обтирочные материалы, загрязнённая упаковочная тара, отверженные жидкие радиоактивные отходы (компаунды) [20].

К высокоактивным твёрдым отходам относят нерастворимые вещества, которые отделены из радиоактивных растворов фильтрацией и центрифугированием, а также оболочки и конструктивные материалы тепловыделяющих элементов и водяных контуров [21].

Можно выделить (при нормальных условиях работы атомной электростанции) три потока твёрдых радиоактивных отходов [21]:

* изначально твёрдые радиоактивные отходы;
* отверждённые жидкие радиоактивные отходы;

твёрдые радиоактивные отходы, которые являются результатом обработки газообразных радиоактивных отходов.

Твёрдые радиоактивные отходы подразделяются по способам обработки [21]:

* прессуемые - пластмассы, ветошь, одежда, резина, бумага, изоляция;
* непрессуемые - фильтры, стекло, строительный материал (цементные и бетонные блоки), инструменты;
* сжигаемые - дерево, бумага;
* металлические - трубы, арматура, металлические листы, детали реактора.

Классификация твёрдых радиоактивных отходов по рекомендации МАГАТЭ представлена в таблице 1.5. На объектах ядерного цикла организуется строгий учёт и контроль за обращением с радиоактивными отходами - при неправильном обращении отходы могут быть причиной облучения людей и загрязнения окружающей среды [20].

После образования твёрдых радиоактивных отходов производится их сбор в специальные сборники-контейнеры, которые устанавливаются в точках временного хранения, и одновременно с этим проводится их сортировка. Маршруты транспортировки должны иметь кратчайший путь [21].

На всех атомных станциях проектируются хранилища для твёрдых радиоактивных отходов, представляющие собой бетонные ёмкости, расположенные над или под землёй, изолированные от контакта с атмосферными осадками и грунтовыми водами. Хранилища оборудуют системами погрузки-разгрузки, вентиляцией и противопожарной системой и системой контроля радиоактивных веществ в почве и атмосферном воздухе [21].

На блоках реакторов типа ВВЭР-1000, по данным МАГАТЭ, средний поток твёрдых радиоактивных отходов составляет примерно 285 м3 в год, в том числе горючих до 170 м3 в год [7].

**1.5 Жидкие радиоактивные отходы**

В результате деятельности атомных электростанций всегда образуются ЖРО (жидкие радиоактивные отходы). Причинами попадания радионуклидов в теплоноситель являются: нейтронная активация теплоносителя (42К и 24Na), коррозия активированных частей теплоносителя и реактора (60Со, 54Mn, 59Fe, 51Cr, 58Co, 122Sb, 124Sb). Основными продуктами деления в теплоносителе являются 90Sr и 137Cs. Теплоноситель в контурах станции постоянно подвергается специальной очистке для поддержания в нём необходимого химического режима, чистоты и снижения радиоактивности [22].

Очистка производится на байпасных фильтрационных установках, которые работают непрерывно. Контуры атомных электростанций обязательно выполняются замкнутыми из-за радиоактивной среды в них, а также из-за экономической целесообразности - сбрасывать отработанный теплоноситель и заменять его на чистый обессоленный крайне не выгодно [22].

Главные назначения спецводоочистки - это непрерывная дезактивация контуров и выведение примесей. Ионообменные фильтры установок спецводоочистки после исчерпания своей обменной ёмкости нуждаются в регенерации, в результате чего образуется большой объём жидких радиоактивных отходов. Но спецводоочистка не позволяет удалять отложения радиоактивных примесей на некоторых участках контура, поэтому проводится процедура дезактивации, в результате которой образуются радиоактивные промывочные воды [24].

Главными источниками образования радиоактивных отходов на атомных электростанциях являются [24]:

* протечки;
* регенерационные воды от ионообменных фильтров;
* неорганизованные протечки технической воды;
* контурный теплоноситель;
* конденсат турбин;
* обмывочные воды, воды прачечных;
* растворы дезактивации;
* пульпа ионообменных смол;
* лабораторные сточные воды.

Переработка жидких радиоактивных отходов состоит из двух этапов. На первом этапе производится сокращение объёмов отходов с получением определённого объёма чистой воды, которую можно заново включить в цикл, и объёма концентрата отходов. На втором этапе производится переработка полученного концентрата для дальнейшего хранения или захоронения [24].

Выбор методов переработки и удаления жидких радиоактивных отходов зависит от активности отходов, радиохимического состава, количества отходов, требуемой степени очистки и способа хранения концентрата [24].

Для очистки и переработки ЖРО применяются такие методы, как мембранные, термические, сорбционные, ионный обмен, фильтрацию, обратный осмос, электродиализ и многие другие. В отдельности ни один из этих методов не обеспечивает эффективной очистки, поэтому эти методы применяются в комплексе в виде цепочек установок [2].

Жидкие радиоактивные отходы обязательно должны быть переведены в твёрдую форму для удобства их транспортировки, хранения, дальнейшей переработки, захоронения и обеспечения безопасности [2].

Процесс отверждения включает такие стадии, как упаривание, сушка, прокаливание, плавление, отжиг, заключение концентратов в металлическую матрицу и другие [24].

Представленные термины дают чёткое определение основным понятиям в сфере обращения с радиоактивными отходами. Различают альфа-, бета- и гамма-излучения. Бета- и альфа-излучение обладают большой проникающей способностью, но их влияние на организм человека и окружающую среду различен. Радиоактивное излучение может вызывать соматические и генетические изменения, а также физические и химические повреждения. Различные подходы к классификации радиоактивных отходов в Российской Федерации и МАГАТЭ, которые основываются на агрегатном состоянии, удельной активности, по виду преобладающего излучателя, методам захоронения, необходимы для определения дальнейших этапов обращения с ними; в зависимости от классификации отходы подвергаются тому или иному методу обработки, переработки, кондиционированию и захоронению. На АЭС образуются большие объёмы различных по степени активности жидких радиоактивных отходов, их главный источник - теплоноситель в контурах и трапные воды; твёрдые радиоактивные отходы образуются в меньшем количестве, основной источник которых демонтированные узлы реактора и вспомогательных элементов, загрязнённые поддоны и спецодежда.

В следующем разделе будет рассмотрена деятельность и стратегии обращения с радиоактивными отходами в США и странах Евросоюза.

2. Анализ деятельности и стратегий обращения с РАО в странах Евросоюза и США

**2.1 Обращение с РАО в Бельгии**

В Бельгии имеется четыре действующих ядерных реактора: один в г. Доель и три в г. Тиханж. Также действует три исследовательских реактора, кроме всего этого имеется завод по производству тепловыделяющих элементов. В процессе выведения из эксплуатации находятся: перерабатывающий завод Eurochemic, завод по производству тепловыделяющих элементов в Десселе, а также Центр по изучению ядерной энергии (SCK/CEN) и по одному исследовательскому реактору в г. Мол и г. Гент [25].

Из основных концепций обращения с радиоактивными отходами можно выделить следующие [25]:

* временное хранение отработанного ядерного топлива производится на самих территориях атомных электростанций;
* в стране существует мораторий на переработку радиоактивных отходов, поэтому вопрос о переработке и захоронении ещё не решён;
* основной рекомендуемой концепцией в настоящее время является окончательное захоронение в глинистые геологические формации;
* временное хранение радиоактивных отходов низкого и среднего уровней активности производится в основном в накопителях на территории образования;
* кондиционирование тоже производится на территории образования или на объектах по обработке радиоактивных отходов;
* короткоживущие радиоактивные отходы низкого и среднего уровней активности направляются на окончательное захоронение в приповерхностные пункты захоронения;
* отходы очень низкого уровня радиоактивности могут быть сброшены в окружающую среду.

В хранилищах радиоактивных отходов, перед тем как там начинают размещать радиоактивные отходы, делают анализ глинистых пород и проводят испытания на прочность и герметичность в жёстких условиях [25].

Также в Моле имеется специальная подземная лаборатория по изучению и испытанию отдельных элементов и агрегатов подземных хранилищ. Хотя на 2011 год никаких решений в отношении местоположения хранилища не предлагалось [25].

В долгосрочном планировании возможен ввод в эксплуатацию нескольких глубинных геологических хранилищ для высокорадиоактивных отходов. Приповерхностные хранилища для окончательного захоронения радиоактивных отходов низкого и среднего уровней радиоактивности будут установлены в Десселе и введены в эксплуатацию к 2016 году [25].

Основной проблемой является то, что отработанное топливо и высокорадиоактивные отходы должны содержаться во временных хранилищах в течение долгого времени, так как окончательное захоронение возможно только к 2080 году, также просто невозможно предсказать состояние радиоактивных отходов и их потенциальную опасность к тому времени [25].

**2.2 Обращение с РАО в Чехии**

В Чехии имеется четыре действующих реактора в Дукованы и два в Темелине, но в 2010 году строительство двух других реакторов в Темелине было временно приостановлено. Также в городе Рез расположен один действующий исследовательский реактор и два стратегических блока, оба действующие. Кроме всего этого на территории страны имеется одна действующая урановая шахта и одна обогатительная фабрика [25].

Концепции по обращению с радиоактивными отходами в Чехии представлены следующими положениями.

Отдаётся предпочтение многолетнему временному хранению отработанного ядерного топлива из реакторов в защитных контейнерах на территории самих атомных электростанций. Ко всему прочему после 2065 года планируется ввести в эксплуатацию централизованное геологическое хранилище для отработавшего ядерного топлива и других радиоактивных отходов. Также идут обсуждения о переработке радиоактивных отходов за границей и строительства на своей территории собственных хранилищ [25].

Отработанное ядерное топливо исследовательских реакторов отправляется на переработку в Российскую Федерацию, а образовавшиеся в результате переработки высокорадиоактивные ядерные отходы возвращаются обратно в Чехию. Твердые радиоактивные отходы среднего уровня активности в настоящее время не подвергают кондиционированию. Такие отходы размещают во временных подземных хранилищах на территории реактора или централизованно в Дукованы. По сути, решение по дальнейшей судьбе этих отходов будет принято в процессе выведения из эксплуатации ядерных реакторов.

Твердые огнестойкие радиоактивные отходы низкого уровня, которые выгружаются из реакторов, упаковываются в защитные контейнеры на месте и размещаются во временных хранилищах. Горючие радиоактивные отходы сжигают, а золы кальцинируют и направляют в действующие приповерхностные хранилища в Дукованы [25].

Жидкие радиоактивные отходы хранятся в специальных резервуарах временных хранилищ на территории их образования. Затем проводится процедура битумирования и остекловывания. После того, как степень радиоактивности отходов низкого и среднего уровней станет соответствовать радиологическим условиям хранилища, их транспортируют в хранилище в Дукованы. Радиоактивные отходы очень низкого уровня выпускаются в обычный сектор, как только их суммарная радиоактивность падает ниже установленных норм.

Радиоактивные отходы, образовавшиеся в ходе добычи урана, хранятся в наземных накопителях на месте (свалки и отстойные бассейны). В Чехии эти отходы не подчиняются Атомному Закону [25].

**2.3 Обращение с РАО в Финляндии**

В Финляндии расположены два действующих ядерных реактора: один в г. Ловииса, а другой расположен в г. Олкилуото. Еще один атомный реактор находится в процессе строительства. Также имеется один действующий исследовательский реактор в г. Эспоо [25].

Основные концепции обращения с радиоактивными отходами представлены следующими положениями [25]:

* в соответствии с Актом 1994 года, отработанное ядерное топливо, образовавшееся в атомных энергетических реакторах, относится к радиоактивным отходам. В связи с этим его переработка запрещена законом;
* временное хранение отработанного ядерного топлива осуществляется на территории его образования, в специальных отдельных сооружениях;
* извлечения радиоактивных отходов из хранилища считается возможным;
* отработанное ядерное топливо, которое образовалось в специальных исследовательских реакторах, помещается во временное хранилище на территории объекта образования и хранится определённое установленное время [25];
* кондиционирование радиоактивных отходов низкого и среднего уровней радиоактивности проводится на территории организации, на которой они были образованы;
* после буферного хранения радиоактивные отходы направляют на окончательное захоронение в приповерхностные сооружения. Такие сооружения обычно размещаются на глубине (50ч60) метров от поверхности земли и располагаются на территории самой атомной электростанции, если они соответствуют всем требованиям данного хранилища;
* если отходы не соответствуют требованиям хранилища, то их продолжают содержать во временных сооружениях на территории станции, после чего размещают в глубоких геологических формациях с соответствующей защитой [25];
* окончательное захоронение отработанного ядерного топлива, образовавшегося в ядерных реакторах, производится в скальных породах на глубине (500ч600) метров;
* при обращении с отходами очень низкого уровня радиоактивности их сбрасывают непосредственно в море как жидкие отходы, или размещают в привычных местах захоронения, или используют повторно. В г. Олкилуото на территории электростанции имеется свалка с токсическими отходами.

К 2001 году в г. Олкилуото власти определились с местом для хранилища отработанного топлива и радиоактивных отходов высокого уровня. Также проводятся различные геологические исследования шахты по сбору информации и характеристик. Данная шахта будет частью окончательного хранилища. Подтверждение строительства хранилища ожидается к 2012 году, а введение его в эксплуатацию - в 2020 году. Приповерхностные хранилища для радиоактивных отходов низкого и среднего уровней находятся в стадии эксплуатации на территории атомной станции [25].

Не смотря на довольно эффективные концепции по обращению с радиоактивными отходами, Финляндия имеет некоторые проблемы. Самым главным моментом в концепции хранения радиоактивных отходов является обеспечение эффективности технических барьеров в течение долгого периода времени. Из-за особых геологических условий Скандинавии, окончательное захоронение отходов в большинстве случаев возможно только в твердых скальных породах. Но из-за особой структуры скальных пород в них могут образовываться трещины, что увеличивает вероятность проникновения грунтовых вод в захоронения [25].

Получается, что безопасное хранение радионуклидов в хранилищах в течение долгого времени может быть возможно только при использовании контейнеров, выполненных из устойчивых к коррозии материалов [25].

**2.4 Стратегии обращения с РАО во Франции**

Во Франции имеется пятьдесят действующих ядерных реакторов на девятнадцати площадках, один реактор находится на стадии строительства. Также имеется девять исследовательских реакторов, которые действуют в четырех разных местах. Четыре действующих завода по производству тепловыделяющих элементов или топливных таблеток располагаются на трех площадках, один обогащающий и два конверсионных завода. Четырнадцать энергетических и исследовательских реакторов и десять других ядерных установок выводятся из эксплуатации [26].

Концепция обращения с радиоактивными отходами основывается на следующих методах и положениях [25]:

* отработанное ядерное топливо после выгрузки хранится в реакторном бассейне;
* по большей части, отработанное топливо подвергается переработке: до 2009 года около 850 тонн в год, а с 2010 года - около 1050 тонн из 1150 тонн образовавшегося отработанного ядерного топлива;
* урановое отработанное топливо отправляется на временное хранение до тех пор, пока не будет возможности его использования в будущих усовершенствованных атомных реакторах;
* при обращении с высокорадиоактивными отходами, образовавшимися в ходе переработки, а также с отходами среднего уровня применяют следующие методы и положения:
* разделение и трансмутация;
* хранение в глубоких геологических формациях. Такой метод хранение позволяет извлекать радиоактивные отходы в течение 100 лет. Это является стандартным решением для радиоактивных отходов, которые нельзя размещать в надземных сооружениях для окончательного захоронения в целях безопасности для окружающей среды [26];
* дальнейшее совершенствование технологий временного хранения и кондиционирования, которое планируется осуществить к 2015 году;
* отработанное ядерное топливо исследовательских реакторов частично идёт на переработку, а частично направляется на временное приповерхностное хранение для ожидания переработки.
* радиоактивные отходы низкого и среднего уровней с долгоживущими радионуклидами хранятся по месту их образования в специальных хранилищах [25];
* радиоактивные отходы низкого и среднего уровней с короткоживущими радионуклидами кондиционируются на территории объектов, где были произведены;
* для некоторых видов радиоактивных отходов пока не разработано технологии их переработки - для графитных отходов из исследовательских и тяжеловодных реакторов, определенных жидких растворов, которые получаются при переработке; отходов, содержащих тритий. А также не протестирован метод кондиционирования для некоторых других радиоактивных отходов - для отходов, содержащих натрий, которые образовались в результате испытаний реактора-размножителя, и уран-молибденовых растворов, образовавшихся при переработке отходов [25];
* отличительной особенностью хранилищ является то, что хранилище не покрывается специальным герметизирующими материалами и не герметизируется до тех пор, пока каждая секция хранилища не будет заполнена;
* после закрытия наземного хранилища его состояние будет наблюдаться в течение 300 лет;
* для окончательного захоронения радиоактивные отходы очень низкого уровня радиоактивности помещают в наземные хранилища с меньшими требованиями безопасности. Также возможен сброс таких отходов в окружающую среду, но в крайне редких случаях;
* примерно (48ч50) миллионов тонн отходов, образованных в ходе переработки урановой руды, и 200 миллионов тонн рудных остатков, образованных уранодобывающей промышленностью, которые не могут быть повторно использованы, хранятся на территории этих заводов [25].

В плане строительства хранилищ для радиоактивных отходов французские власти планируют рядом с подземной лабораторией в Буре создать хранилище для высокорадиоактивных отходов и отходов с долгоживущими радионуклидами. Введение в эксплуатацию этого хранилища намечено на 2025 год. Также в 2019 году предполагается введение в эксплуатацию приповерхностного хранилища для низкоактивных отходов с долгоживущими радионуклидами. В г. Морвильере расположено наземное хранилище для отходов очень низкого уровня радиоактивности, а в г. Сулан действует хранилище для отходов низкого и среднего уровней радиоактивности с короткоживущими радионуклидами. Не смотря на закрытие в 1994 году одного из наземных хранилищ, оно будет наблюдаться специальными мониторинговыми службами в течение последующих 300 лет [25].

Из основных проблем, которые возникают во Франции при обращении с радиоактивными отходами, можно выделить следующие.

На конец 2007 года во Франции было зарегистрировано около 1121 объектов для хранения радиоактивных отходов. Данным числом объектов до конца 2011 года в сумме было образовано около 1152533 м3радиоактивных отходов. Французские власти не намерены отказываться от ядерной энергетики, которая не является экологически безопасной, по мнению многих жителей Европы [26].

После переработки радиоактивных отходов и отработавшего топлива и получения из него новых тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) требуется некоторая обработка радиоактивных материалов. Последствия такой обработки выражаются следующим [26]:

* работники перерабатывающих станций подвергаются опасности радиационного облучения;
* интенсивный выпуск радионуклидов - возрастающая опасность негативного воздействия радиации на окружающую природную среду и население;
* повышенный риск аварий и несчастных случаев.

На некоторых территориях, предназначенных для выбора места хранилищ, в глубинных геологических формациях, не был проведен сопоставительный анализ, который требуется законом [26].

В 2007 году для строительства хранилища РАО определен район г. Бюра, где расположена действующая подземная лаборатория для тестирования глинистых пород [25].

Для многих радиоактивных отходов низкого и среднего уровней во Франции еще не разработана концепция по обращению с ними [26].

Большие объёмы обеднённого урана направляются в Российскую Федерацию для повторного обогащения, но около 4/5 всего этого объёма осталась в РФ. В Российско-Французских контрактах не оговорены взаимные обязательства по поводу дальнейшего обращения с радиоактивными отходами, причём для РФ длительное хранение таких отходов не приемлемо [25].

**2.5 Анализ деятельности по обращению с радиоактивными отходами на территории Швеции**

Среди атомных электростанций и других источников первичных отходов, образующихся в Швеции, можно выделить следующие: десять атомных энергетических реакторов работает на трёх площадках и два исследовательских реактора имеется на двух площадках. Ко всему прочему работает завод по производству тепловыделяющих элементов и специальный завод, которых перерабатывает урановые остатки. К тому же три энергетических реактора и два исследовательских реактора находятся на стадии выведения из эксплуатации [25].

Обращения с отходами в Швеции характеризуется следующими положениями [25]:

* хранение отработанного ядерного топлива и радиоактивных отходов средней активности производится в реакторных бассейнах;
* после процедуры охлаждения топливо и радиоактивные отходы перевозят и хранят в центральном подземном временном хранилище отходов около тридцати лет. Данное хранилище расположено на глубине (25ч30) метров от поверхности земли;
* соответствующий требованиям хранилища способ упаковки пока ещё не разработан;
* геологическое хранилище окончательного захоронения располагается в твердых породах на глубине (400ч700) метров;
* хранилища засыпают изъятым из котлована грунтом и затем тщательно изолируют, что является технически неверным - необходимо оставлять возможность изъятия радиоактивных отходов;
* определённая часть отработанного ядерного топлива из исследовательских реакторов отправляется на экспорт в США;
* кондиционирование радиоактивных отходов низкого и среднего уровней активности проводится на территории их образования, а горючие и загрязнённые металлические отходы направляются в г. Студсвик;
* окончательное захоронение радиоактивных отходов низкого и среднего уровней активности с короткоживущими радионуклидами производится в хранилище SFR-1, которое расположено в твердых скальных породах [25];
* с 2020 года все отходы, которые образовались в процессе выведения из эксплуатации, будут направляться на окончательное захоронение в хранилище SFR-1;
* долгоживущие радиоактивные отходы низкого и среднего уровней активности временно хранятся на территории их образования. В 2045 году планируется запуск автономного хранилища, куда будут направляться отходы из центрального временного хранилища и площадок складирования отходов АЭС и исследовательских реакторов;
* радиоактивные отходы очень низкого уровня активности будут направлены в наземные хранилища, которые расположены на территориях АЭС или кондиционирующего завода в г. Студсвик. Также они могут быть выгружены на территории обычных свалок [25].

В 2025 году планируется ввести в эксплуатацию хранилище глубиной 500 метров для отработанного ядерного топлива, для чего ещё в 2009 году была выбрана территория, расположенная недалеко от АЭС «Форсмарк». В поисках данного места было проведено много исследовательских работ на похожих территориях с такими твердыми породами [25].

Уже действующие геологические хранилища радиоактивных отходов предназначены только для короткоживущих отходов низкого и среднего уровней активностей.

В Швеции до сих пор не имеется точной концепции обращения с долгоживущими отходами низкого и среднего уровней активности [26].

Основной серьёзной проблемой в концепции хранения радиоактивных отходов в Швеции является обеспечение безопасности для окружающей среды и эффективности технических барьеров в течение очень долгого времени. Шведская и финская проблема очень похожа - окончательное захоронение отходов может быть возможным только в твердых скальных породах, которые на определённых территориях и глубине имеют трещиноватую структуру [26].

В 2009 году Стокгольмский Королевский Технологический институт опубликовал результаты своего многолетнего исследования, в котором выяснилось, что образование коррозии в герметически закрытых хранилищах может проходить гораздо быстрее, чем предполагалось ранее. Это вызывает огромную опасность проникновения радионуклидов в окружающую среду [26].

**2.6 Ситуация с радиоактивными отходами в США**

В США на 2009 год имеется сто четыре энергетических атомных реактора, а также ряд вспомогательных установок обслуживания реакторов. Также имелся один гражданский перерабатывающий завод в г. Вест-Велли, который являлся крупнейшим местом образования отходов, на данный момент закрыт. Также имеется много гражданских и военных исследовательских ядерных установок [25].

Концепции обращения с отходами, образовавшихся в результате эксплуатации военных и гражданских стаций, некоторым образом различаются. Но будет рассмотрена концепция обращения с гражданскими «мирными» отходами [25].

Отработанное ядерное топливо хранится в бассейнах выдержки на территории самой атомной электростанции. Ко всему прочему, примерно половина всех реакторов на своей территории имеет установки для временного хранения, не зависящие от работы самого реактора. Для увеличения емкости хранения применяются коробки для сухого хранения, которые расположены контейнерах или в бетонных бункерах. Отработанное топливо из исследовательских ядерных реакторов, а также из иностранных реакторов Евросоюза хранится в сухом временном хранилище в районе реки Саванна и в Национальной лаборатории штата Айдахо [25].

Отработанное ядерное топливо из исследовательских реакторов, а также из энергетических реакторов планируется размещать для захоронения в глубоких геологических формациях.

Правительство США, находящееся у власти, собрало экспертную комиссию Blue Ribbon Panel (BRP) для нахождения новых путей обращения с отходами и подготовки отчетов о проделанной работе [25].

Высокоуровневые отходы, которые образуются в результате гражданской переработки отходов, направляются в хранилища так же, как и отработанное ядерное топливо [25].

Хранилища остаётся открытым больше ста лет с начала размещения в нем радиоактивных отходов - отходы можно загружать в течение пятидесяти лет, а в следующие пятьдесят лет хранилище находится в открытом доступном состоянии [26].

Классификация радиоактивных отходов в США имеет свои особенности. Например, в классификации нет категории отходов среднего уровня радиоактивности, но зато есть дополнительные четыре подкатегории отходов низкого уровня. Обычно такие отходы хранятся во временном хранилище радиоактивных отходов на территории их образования до накопления достаточного количества для дальнейшей перевозки [25].

Отходы с долгоживущими радионуклидами загружаются во временные хранилища отходов на неопределенный период времени, чаще всего длительный срок. Радиоактивные отходы низкого уровня активности размещаются в приповерхностных хранилищах, которые расположены на глубине (30ч40) метров. Радиоактивные отходы очень низкого уровня активности отправляются в другие места хранения опасных веществ [26].

В настоящее время на территории США действует 4 приповерхностных хранилища для радиоактивных отходов низкого уровня активности.

Начиная с 1987 года, в качестве проекта сооружения долговременного хранилища радиоактивных отходов исследовался потухший вулкан горы Юкка. Но в 2010 году правительство США отказалось от данной программы из-за неудобства транспортировки отходов и сомнений в плане безопасности - жерло вулкана было засыпано [25].

На территории Экспериментального завода по изоляции отходов, на глубине 700 метров, были захоронены трансурановые отходы от производства ядерного оружия [25].

В США на протяжении многих лет проводятся исследования в отношении стабильности соляных формаций или их способности изолировать в случае выброса радионуклидов после окончательного захоронения военных ядерных отходов на Экспериментальном заводе по изоляции отходов [26].

Одной из главных проблем, связанных с захоронением отходов в США, является то что организации некоторых штатов, которые производят отходы, вынуждены сами организовать длительное захоронение этих отходов. Одно приповерхностное хранилище находится в процессе лицензирования. До этого четыре таких хранилища не были лицензированы из-за несоответствия требованиям безопасности [25].

В странах ЕС и США радиоактивные отходы атомных электростанций и исследовательских реакторов проходят все стадии переработки, а затем, в основном, направляются на долговременное хранение с целью снижения активности. Также всё больший интерес проявляется к захоронению отходов в глубинных формациях; отходы очень низкого уровня активности сбрасываются в водные объекты. Такие страны, как Франция и Чехия, направляют часть радиоактивных отходов в РФ для переработки и хранения.

В следующем разделе будет рассмотрено экологическое законодательство РФ в области обращения с радиоактивными отходами.

3. Экологическое законодательство в области обращения с радиоактивными отходами в РФ

**3.1 Федеральные законы**

Правовое регулирование отношений в области обращения с радиоактивными отходами производится следующими федеральными законами.

Федеральный закон от 11 июля 2011 г. № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» определяет полномочия Правительства Российской Федерации, федеральных органов исполнительной власти, органов государственной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления в области обращения с радиоактивными отходами [16].

Законодательно устанавливается классификация радиоактивных отходов. Устанавливаются требования к обеспечению безопасности при обращении с радиоактивными отходами, в том числе критерии и порядки обращения с радиоактивными отходами. Определяется право собственности на радиоактивные отходы и пункты их захоронения [16].

Установлены требования к организациям, осуществляющим обращение с радиоактивными отходами. Определяются требования к регистрации радиоактивных отходов и пунктов хранения радиоактивных отходов [16].

Определена ответственность за нарушение требований в области обращения с радиоактивными отходами [16].

Федеральный закон от 21 ноября 1995 года № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» определяет правовую основу и принципы регулирования отношений, которые возникают при использовании атомной энергии [27].

Установлены полномочия Президента Российской федерации, полномочия Правительства Российской Федерации, полномочия федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления в области использования атомной энергии [27].

Также определяются права организаций, которые осуществляют деятельность в области использования атомной энергии. Регламентируется государственный мониторинг радиационной обстановки на территории РФ, проводится государственный учёт и контроль атомных станций, ядерных материалов, радиоактивных веществ и радиоактивных отходов. Устанавливается порядок проведения федерального государственного надзора в области использования атомной энергии [27].

Регулируются вопросы собственности на ядерные материалы, пункты хранения и радиоактивные вещества [27].

Федеральный закон от 9 января 1996 года № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения» устанавливает требования к обеспечению радиационной безопасности при обращении с источниками ионизирующего излучения. Также предусматривается оценка состояния радиационной безопасности по конкретным показателям [28].

Устанавливается ответственность за невыполнение или за нарушение требований к обеспечению радиационной безопасности [28].

Федеральный закон от 30 марта 1999 года № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» устанавливает санитарно-эпидемиологические требования к условиям работы с источниками физических факторов воздействия на человека [29].

Федеральный закон от 10 января 2002 года № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» в сфере обращения с радиоактивными отходами определяет полномочия органов государственной власти, к которым относится установление порядка обращения с радиоактивными отходами, а также контроль за обеспечением радиационной безопасности. Также данный федеральный закон устанавливает, что радиоактивные отходы должны подлежать сбору, обезвреживанию, транспортировке, хранению и захоронению, условия и способы которых должны быть безопасными для окружающей среды и человека [30].

Федеральный закон от 1 декабря 2007 года № 317-ФЗ «О Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» устанавливает полномочия и функции государственной корпорации в области использования ядерной энергии, полномочия по нормативно-правовому регулированию деятельности, функции для обеспечения безопасности при использовании ядерной энергии. Определяются виды деятельности государственной корпорации. Устанавливаются полномочия различных уровней управления корпорации [31].

Федеральный закон от 21 февраля 1992 № 2395-1 «О недрах» устанавливает, что одним из оснований получения права пользования участками недр может быть решение Правительства РФ для целей захоронения радиоактивных, токсичных и иных опасных отходов в глубоких горизонтах [32].

Водный кодекс Российской Федерации запрещает захоронение ядерных материалов и радиоактивных веществ в водных объектах, также устанавливается запрет на проведение на основе ядерных и иных видов промышленных технологий взрывных работ, при которых выделяются радиоактивные вещества. Запрещается сброс в водные объекты сточных вод, в которых содержание радиоактивных веществ превышает нормативы допустимого воздействия на водные объекты [33].

**3.2 Государственные стандарты**

ГОСТ 12.1.048-85 «Система стандартов безопасности труда. Контроль радиационный при захоронении радиоактивных отходов. Номенклатура контролируемых параметров» устанавливает номенклатуру параметров радиационного контроля при захоронении радиоактивных отходов в наземных и подземных неглубоких могильниках. Также стандарт определяет главные требования к объёму радиационного контроля при захоронении радиоактивных отходов в специальных могильниках [34].

ГОСТ Р 51883-2002 «Отходы радиоактивные цементированные. Общие технические требования» устанавливает общие технические требования к цементированным радиоактивным отходам, которые получены включением жидких радиоактивных отходов низкого и среднего уровней активности в матричные композиции на основе неорганических вяжущих материалов. Также в стандарте устанавливаются параметры, которые характеризуют качество цементных компаундов и установлены допустимые пределы показателей качества компаундов [35].

ГОСТ Р 50927-96 «Отходы радиоактивные битумированные. Общие технические требования» устанавливает общие технические требования к битумным компаундам, полученным путем включения в расплавленную битумную матрицу жидких радиоактивных отходов, удельная активность которых позволяет безопасное для окружающей среды захоронение вблизи поверхности. Устанавливаются требования к качеству битумных компаундов [36].

ГОСТ Р 50996-96 «Сбор, хранение, переработка и захоронение радиоактивных отходов. Термины и определения» устанавливает термины и определения понятий в области сбора, хранения, переработки и захоронения радиоактивных отходов. Дано чёткое определение понятию «радиоактивные отходы» [37].

ГОСТ Р 51824-2001 «Контейнеры защитные невозвратные для радиоактивных отходов из конструкционных материалов на основе бетона. Общие технические требования» стандарт распространяется на защитные невозвратные контейнеры из конструкционных материалов на основе бетона, предназначенные для размещения, длительного хранения в хранилищах, транспортирования и захоронения в приповерхностных или подземных могильниках твердых и отверждённых радиоактивных отходов. В стандарте устанавливаются технические требования к невозвратным контейнерам и к их конструктивным материалам [38].

ГОСТ Р 50926-96 «Отходы высокоактивные отверждённые. Общие технические требования» устанавливает общие технические требования к качеству отверждённых высокоактивных отходов независимо от способа их получения. Также рассматриваются и определяются параметры, которые характеризуют качество высокоактивных отверждённых отходов [39].

**3.3 Постановления правительства**

В данном подразделе представлены основные постановления Правительства, относящиеся к сфере обращения с радиоактивными отходами.

Постановление Правительства РФ от 19.10.2012 № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов».

Постановление Правительства РФ от 19 ноября 2012 г. № 1188 «О порядке осуществления государственного учета и контроля радиоактивных отходов, в том числе регистрации радиоактивных отходов и пунктов хранения радиоактивных отходов, органом государственного управления в области обращения с радиоактивными отходами».

Постановление Главного санитарного врача РФ от 23 октября 2002 г. № 33 «О введении в действие санитарных правил СП 2.6.6.1168-02 «Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002)».

Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 26.04.2010 № 40 «Об утверждении СП 2.6.1.2612-10 "Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)».

Постановление Правительства РФ от 11 октября 1997 г. № 1298 «Об утверждении правил организации Системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов».

Постановление Правительства РФ от 14 марта 1997 г. № 306 «О Правилах принятия решений о размещении и сооружении ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения».

Постановление Правительства РФ от 3 декабря 2012 г. № 1249 «О порядке государственного регулирования тарифов на захоронение радиоактивных отходов».

Постановление Правительства РФ от 25 июля 2012 г. № 767 «О проведении первичной регистрации радиоактивных отходов».

**3.4 Отраслевые стандарты**

ОСТ 95 10517-95 «Хранилища твердых радиоактивных отходов. Общие требования».

Стандарт распространяется на хранилища твердых радиоактивных отходов и устанавливает общие требования к техническим решениям при проектировании, строительстве, эксплуатации, модернизации и снятии с эксплуатации сооружений и оборудования хранилищ в части предотвращения распространения радиоактивных загрязнений и обеспечение возможности дезактивации [40].

**3.5 Федеральные и санитарные нормы и правила**

В данном подразделе представлены нормы и правила, которые устанавливают требования к обеспечению безопасности при обращении с радиоактивными отходами.

НП-055-04 «Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности». Данные федеральные нормы и правила устанавливают цели, принципы, критерии и основные требования безопасности при приповерхностном захоронении радиоактивных отходов, захоронении радиоактивных отходов в глубокие геологические формации, а также при захоронении жидких радиоактивных отходов. Также устанавливаются требования к обеспечению безопасности при эксплуатации и закрытии пунктов захоронения радиоактивных отходов и полигонов глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов, а также критерии обеспечения качества при захоронении РАО. Устанавливается допустимое содержание радионуклидов в радиоактивных отходах, которые захораниваются в приповерхностных пунктах захоронения [41].

НП-058-04 «Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения». Данные нормы и правила устанавливают цели и принципы обеспечения безопасности при обращении с радиоактивными отходами, общие требования к обеспечению безопасности при обращении с ними. Также устанавливаются требования к содержанию проектной и эксплуатационной документации объекта использования ядерной энергии [42].

НП-020-2000 «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование твердых радиоактивных отходов. Требования безопасности». Настоящие федеральные нормы и правила устанавливают требования к обеспечению безопасности при сборе, переработке, хранении и кондиционировании твердых радиоактивных отходов на ядерных установках, радиационных источниках, в пунктах хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, хранилищах РАО. Также в данных нормах и правилах устанавливаются характеристики контейнеров и упаковки твёрдых радиоактивных отходов; характеристики документации для упаковок отходов [43].

НП-016-05 «Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла». Данные нормы и правила устанавливают критерии, принципы и требования обеспечения безопасности на данных объектах, требования к проектированию и размещению таких объектов, к техническим процессам, оборудованию и документации [44].

НП-019-2000 «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности». Настоящий документ устанавливает требования к обеспечению безопасности при сборе, переработке, хранении и кондиционировании ЖРО на ядерных установках, радиационных источниках, в пунктах хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, хранилищах РАО [5].

НП-069-06 «Приповерхностное захоронение радиоактивных отходов. Требования безопасности». Настоящий документ распространяется на приповерхностное захоронение радиоактивных отходов и устанавливает требования безопасности к проектируемым, сооружаемым, эксплуатируемым, закрываемым и закрытым приповерхностным пунктам захоронения радиоактивных отходов. Данные нормы и правила также устанавливают критерии запрета захоронения определённых отходов. Устанавливаются требования к защитным контейнерам, подстилающим экранам и буферному материалу пункта захоронения, к выбору места захоронения, климатическим, топографическим, гидрологическим и другим условиям местности [6].

СП 2.6.6.1168-02 «Радиоактивные отходы. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002)». Данные санитарные правила устанавливают основные принципы обеспечения безопасности и стадии обращения с РАО, а также следующие требования: требования к хранению, сбору и удалению радиоактивных отходов из организации, где они были образованы; требования к транспортировке радиоактивных отходов; требования к кондиционированию и переработке; требования к захоронению и долговременному хранению радиоактивных отходов. Устанавливаются принципы переработки жидких, твёрдых и газообразных радиоактивных отходов, а также требования к выбору места захоронения отходов и консервации могильников [18].

СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности. Санитарные правила и нормативы (НРБ 99/2009)». Нормы радиационной безопасности устанавливают требования к ограничению радиоактивного облучения в определённых условиях, а также устанавливают основные пределы доз для населения и допустимые уровни воздействия ионизирующего излучения. Определяются ограничения техногенного облучения в нормальных условиях [45].

НП-067-05 «Основные правила учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в организации». Данные нормы и правила устанавливают требования к контролю и учёту радиоактивных отходов в организации, устанавливается состав документации, требования к передаче отходов, минимальные значимые удельные активности радионуклидов в радиоактивных отходах, перечень обязательных сведений в журналах учёта радиоактивных отходов [46].

НП-002-04 «Правила безопасности при обращении с радиоактивными отходами атомных станций». Данные нормы и правила устанавливают требования и рекомендации при проектировании и эксплуатации систем обращения с жидкими, твёрдыми и газообразными радиоактивными отходами [47].

**3.6 Обращения с радиоактивными отходами в Российской Федерации**

На 2012 год в Российской Федерации имеется тридцать два энергетических реактора и установок для их обслуживания, 23 исследовательских реактора [48].

В Российской Федерации действует 10 атомных электростанций: Балаковская (Балаково, Саратовская область), Белоярская (Белоярский, Екатеринбургская область), Билибинская АТЭЦ (Билибино, Магаданская область), Калининская (Удомля, Тверская область), Кольская (Полярные Зори, Мурманская область), Ленинградская (Сосновый Бор, Санкт-Петербургская область), Ростовская (Волгодонск-28, Ростовская обл.), Смоленская (Десногорск, Смоленская область), Курская (Курчатов, Курская область), Hововоронежская (Hововоронежск, Воронежская область) [2].

Все атомные электростанции имеют различные количества и типы реакторов (рисунок 3.1).



Условные обозначения:

Атомная электростанция;

ВВЭР-1000 (Водо-водяной энергетический реактор) мощностью 1000 МВт;

БН-600 (Реактор на быстрых нейтронах) мощностью 600 МВт;

ВВЭР-400 (Водо-водяной энергетический реактор) мощностью 400 МВт;

ЭГП (Графитовый реактор с естественной циркуляций теплоносителя) мощностью 12 МВт;

РМБК-1000 (Реактор большой мощности канальный) мощностью 1000 МВт.

Рисунок 3.1 - Атомные электростанции РФ и типы действующих реакторов

Система обращения с радиоактивными отходами в Российской Федерации была сформирована в процессе развития атомных энергетических технологий ещё при СССР, в виду она имеет определённые особенности. Данная система привязана к пунктам образования радиоактивных отходов и не является строгой структурированной системой обращения с отходами и контроля за ними. Хранилища радиоактивных отходов и могильники разбросаны по огромной территории, отсутствует единая система управления и надзора над ними. Во многих случаях хранилища строились на загрязнённых радиоактивными отходами территориях [49]. В области обращения с РАО Российская Федерация руководствуется принципами, заложенными в ратифицированных РФ Конвенции о физической защите ядерного материала, Конвенции об оперативном оповещении о ядерной аварии, Конвенции об оказании помощи в случае ядерной аварии или радиационной аварийной ситуации, Конвенции о ядерной безопасности [11].

Вышеперечисленные особенности присущи и многим другим странам с развитой атомной энергетикой. Но в зарубежных странах в последние десятилетия был проведён огромный объём работ по реабилитации загрязнённых территорий, удалению опасных отходов и модернизации хранилищ. В РФ только в 2008 году была объявлена Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года».

На основе этой программы в 2011 году был принят закон «Об обращении с радиоактивными отходами». Также постановлением Правительства Российской Федерации от 19 ноября 2012 г. N 1185, в соответствие со статьёй закона, устанавливаются порядок и сроки создания (к 2021 году) «Единой государственной системы обращения с радиоактивными отходами» [49].

Отличительной особенностью хранилищ радиоактивных отходов в США - это их огромные объёмы. Например, полигон в штате Невада имеет объём (3000000ч3,5000000) м3, объём же самого большого российского хранилища на территории государственного предприятия «Радон» имеет объём (100000ч160000) м3, что несравнимо с американскими показателями. Поэтому остающиеся нерешёнными проблемы с хранилищами радиоактивных отходов не позволяют вплотную заняться проблемами рекультивации загрязнённых территорий [49].

Сложившаяся система обращения с радиоактивными отходами в РФ сильно тормозит вышеназванную федеральную целевую программу. К.т.н. Волков В.Г. и Чесноков А.С. из Курчатовского института полагают, что для решения подобных проблем необходимы значительные мощности по созданию устойчивой системы хранения радиоактивных отходов и организации с лицензиями и большим опытом работ в данной сфере. По их мнению, выделение больших денежных средств на разработки, модернизацию технологий и исследования в области хранения, переработки и захоронения радиоактивных отходов, в том числе опасного отработанного ядерного топлива, будет способствовать решению проблемы, благодаря этому российские технологии смогут догнать зарубежные и, в конце концов, способствовать реализации федеральной программы в полной мере [49].

Также проблемой системы обращения с радиоактивными отходами является то, что на многих перерабатывающих комбинатах и заводах не применяются простейшие эффективные методы переработки радиоактивных отходов из-за халатности руководства и возможной дороговизны.

Федеральный закон «Об обращении с радиоактивными отходами», принятый в 2012 году, имеет некоторые недостатки, что тоже негативно сказывается на ситуации в сфере обращения с радиоактивными отходами [50]:

- отработанное ядерное топливо не входит в сферу регулирования данного закона;

отсутствие чёткого регулирования в отношении импорта и экспорта РАО, которые образуются от переработки иностранных ОЯТ;

некоторые правила обращения с отходами не согласуются с нормами прирoдooхранного законодательства;

для полной реализации закона необходима разработка значительного количества подзаконных актов, без которых некоторые положения закона не могут быть исполнены;

отсутствует чёткое описание процедур участия общественного мнения при обращении с радиоактивными отходами [50].

Таким образом, законодательство в области обращения с радиоактивными отходами включает такие нормативно-правовые акты, как федеральные законы, постановления правительства, указы президента, санитарные и федеральные нормы и правила, государственные стандарты, отраслевые стандарты. Основополагающими документами являются Конституция РФ и Федеральный закон «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». На территории Российской Федерации располагается 10 атомных электростанций с различными типами реакторов, и, соответственно, образуются различные виды радиоактивных отходов. Разработанные и введенные в действие федеральные нормы и правила и руководства по безопасности позволяют осуществлять нормативное регулирование безопасности большинства видов деятельности со всеми видами и категориями РАО на объектах использования атомной энергии.

В следующем разделе будут рассмотрены принципы и концепции обращения с радиоактивными отходами, а также методы обработки твёрдых радиоактивных отходов.

4. Обращение с радиоактивными отходами

**4.1 Принципы и концепции обращения с радиоактивными отходами**

Главным требованием любой стратегии обращения с радиоактивными отходами остаётся то, что такие отходы должны перерабатываться, храниться, транспортироваться и захораниваться таким образом, чтобы негативное воздействие от испускаемой ими радиации на окружающую среду не превышало установленных пределов. Причём такое требование относится как к настоящему времени, так и к будущему [18].

Достижение этой цели должно обеспечиваться системным подходом, определяющимся нормами и правилами по охране природной среды и здоровья человека. Только комплексный подход к решению данной проблемы может обеспечить безопасность при обращении с радиоактивными отходами.

Международной организацией МАГАТЭ и Международной комиссией по радиологической защите были разработаны и совершенствуются фундаментальные принципы обеспечения безопасности при обращении с РАО.

Главными целями обеспечения безопасности при обращении с РАО являются: обеспечение надёжной изоляции радиоактивных отходов от окружающей среды; обеспечение надёжной защиты населения от радиационного излучения и предотвращение аварий и попадания радиоактивных веществ в таком количестве, которое превышает установленные нормы [18].

При обращении с радиоактивными отходами обязательно должны соблюдаться следующие принципы [15]:

* принцип охраны окружающей среды - обеспечение достаточного уровня защиты окружающей среды от радиоактивного воздействия на неё;
* принцип защиты будущего поколения;
* принцип контроля накопления и образования радиоактивных отходов - количество отходов должно быть минимальным;
* принцип учёта зависимости образования радиоактивных отходов и обращения с ними;
* принцип защиты здоровья человека - обеспечение высокого уровня защиты населения от радиоактивного воздействия отходов;
* принцип предотвращения радиационных аварий и их последствий;
* принцип невозложения проблем с радиоактивными отходами на будущие поколения людей;
* принцип взаимозависимости образования радиоактивных отходов и обращения с ними - надлежащим образом учитываются взаимозависимости между всеми стадиями образования радиоактивных отходов и обращения с ними.

Безопасность хранилища радиоактивных отходов (во время его эксплуатации) должна обеспечиваться за счет последовательной реализации концепции глубокоэшелонированной защиты - применение системы барьеров для защиты от радиоактивного излучения, а также совокупности технических мер по защите данных барьеров при сохранении их эффективности, и по защите персонала, населения и окружающей среды. То же самое относится и к обеспечению долговременной безопасности [15].

**4.2 Последовательные стадии процесса обращения с радиоактивными отходами**

Процесс обращения с радиоактивными отходами представляет собой последовательные стадии переработки и окончательного или временного захоронения отходов в геологической формации [16].

Прохождение радиоактивных отходов через данные стадии зависит от вида данных отходов, их физических и химических свойств, а также от уровня активности. В результате их характеризации отходы разделяют на специальные группы для обеспечения соответствия требованиям захоронения и методам обработки. Характер и свойства отходов подлежат учёту, регистрации и документированию с последующей передачи этих данных от одной стадии переработки к другой [16].

Переработка отходов включает четыре основных стадии, после которых производится захоронение [15]:

предварительная обработка - сбор, разделение, регулирование состава и сортировка;

обработка - уменьшение объёма сжиганием или компактированием, удаление радионуклидов (очистка), изменение состава, дезактивация;

кондиционирование - перевод жидких отходов в твёрдую форму, включение в матрицу, локализация в специальных контейнерах и дополнительных упаковках;

* транспортировка;
* временное хранение;
* окончательное захоронение.

Между данными стадиями возможны промежуточные стадии транспортирования и хранения отходов, количества которых зависят от различных факторов и условий.

Предварительная обработка является первой стадией обращения с радиоактивными отходами сразу же после их образования. Данная стадия имеет лучшую возможность для разделения отходов на потоки, которые предназначены для определённых методов обработки, захоронения и освобождения от контроля. На этой стадии отходы собираются, анализируются и разделяются в соответствии с их свойствами. При первичной сортировке производится разделение отходов на радиоактивные и нерадиоактивные. Предварительная обработка сильно облегчает главную процедуру обработки отходов, способствует повышению её эффективности и снижению объёмов отходов, которые требуют определённый метод обращения с ними [18].

Санитарными правилами обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002) для процедуры сбора устанавливаются определённые требования. Сбор радиоактивных отходов должен проводиться в пунктах их образования с учётом их агрегатного состояния, физико-химических характеристик, их дальнейших методов обработки и удельной активности. При сборе запрещается смешивать радиоактивные отходы с бытовыми и промышленными отходами (для твёрдых отходов) и разбавлять жидкостью (для жидких отходов). Твёрдые радиоактивные отходы должны собираться в специальные сборники-контейнеры, ящики различных конструкций (прочных). Также допускается собирать радиоактивные отходы в прочные мешки, которые затем помещаются в сборники-контейнеры (контакт персонала с отходами должен быть минимальным). Жидкие радиоактивные отходы должны собираться в баки или специальные бочки. При сборе должна осуществляться сортировка радиоактивных отходов по агрегатному состоянию, горючести, степени активности. Строго запрещается сброс жидких отходов в компоненты окружающей среды [18].

Обработка отходов представляет собой последовательность или сочетание процедур, которые направлены на повышение безопасности отходов при помощи изменения их свойств и характеристик. Примерами таких операций являются: компактирование, выпаривание, фильтрация, сжигание, флоккуляция, осаждение, ионный обмен и измельчение [18].

Стадия кондиционирования радиоактивных отходов представляет собой совокупность операций, с помощью которых отходы переводятся в обладающую радиационной и химической устойчивостью форму (иммобилизация). Такая форма позволяет сохранять безопасность и стабильность при хранении, захоронении и перевозке. Самыми эффективными и распространёнными методами иммобилизации являются цементирование, битумирование и остекловывание. Обработка и кондиционирование радиоактивных отходов тесно связаны между собой [43].

Главная цель кондиционирования - снижение объёма отходов и снижение вероятности попадания радиоактивных веществ в окружающую природную среду. Кондиционирование производится также для удобства последующего хранения, транспортировки и захоронения радиоактивных отходов. При выборе методов кондиционирования опираются на свойства радиоактивных отходов, экономическую целесообразность, условия дальнейшего обращения с ними [43].

Упаковки с отходами подлежат паспортизации; в паспорте указываются такие показатели отходов, как категория, радионуклидный состав, удельная и суммарная активность, мощность дозы г-излучения на расстоянии 0,1 и 1 метр от стенки упаковки [18].

При кондиционировании отходы обязательно должны быть приведены в твёрдое состояние и иметь регламентированную устойчивость к различным типам воздействия; содержание влаги в отвержённом продукте должно быть на минимально возможном уровне; обязательно должны быть удалены взрывоопасные и легковоспламеняющиеся вещества. Операция помещения отходов в контейнеры является последней стадией кондиционирования (создание упаковки). Упаковка предназначена для надёжного и безопасного хранения, транспортирования и захоронения радиоактивных отходов. К конструкциям контейнеров предъявляются такие требования, как герметичность, долговечность, обеспечение био- и термоустойчивости, прочность, простота обслуживания и коррозионная стойкость [18].

Хранение представляет собой процедуру безопасной изоляции и локализации радиоактивных отходов с возможность их последующего изъятия для окончательного захоронения или дальнейшей обработки. Хранение осуществляется раздельно для отходов разных категорий и групп в сооружении, которое обеспечивает безопасную изоляцию их от окружающей природной среды. Также одной из главных целей временного хранения является снижение уровней активности отходов в течение длительного периода времени, что предоставляет возможность упрощения и повышения эффективности дальнейшей обработки таких отходов, а также снижение затрат [18].

Санитарными правилами и нормами (СПОРО-2002) устанавливаются требования для временного хранения радиоактивных отходов. Радиоактивные отходы должны храниться в защитных контейнерах с соблюдением безопасности, контакт персонала с отходами должен быть сведён к минимуму. Контейнеры с радиоактивными отходами должны размещаться в специально оборудованных помещениях или защищённых площадках. Время хранения отходов устанавливается проектом. При временном хранении на контейнеры должны быть нанесены знак радиоактивности (рисунок 4.1) и характеристики отходов [18].



Рисунок 4.1 - Знак радиоактивности

После выемки отходов контейнеры должны быть подвергнуты процедуре дезактивации специальными растворами [18].

Транспортировка представляет собой процесс перемещения упаковок отходов посредством специально оборудованного автотранспорта, морских судов, железнодорожного (рисунок 4.2) и воздушного (редко) транспорта. Для транспортировки радиоактивных отходов применяют транспортные контейнеры, обладающие высокой прочностью и защитными свойствами. Погрузка-разгрузка должна осуществляться дистанционно (краны, погрузчики, манипуляторы), за исключением низкоактивных отходов. Загрязнённое радионуклидами крупногабаритное оборудование подлежит разборке на фрагменты и детали с последующим покрытием их специальными растворами для предотвращения выветривания радионуклидов или упаковки в многослойный брезент [18].



Рисунок 4.2 - Перевозка радиоактивных отходов железнодорожным транспортом

Окончательное захоронение представляет собой конечную стадию обращения с радиоактивными отходами. Данная стадия заключается в размещении радиоактивных отходов в специальных могильниках без намерения их дальнейшего возможного извлечения. При захоронении обеспечивается соответствующая безопасность (создание многобарьерной системы изоляции), долгосрочные наблюдения за могильником и радиационным фоном, а также возможное техническое обслуживание [18].

**4.3 Методы обработки твёрдых радиоактивных отходов**

**4.3.1 Измельчение**

Обработка твёрдых радиоактивных отходов позволяет намного уменьшить объём таких отходов и, как следствие, появляется возможность сокращения объёмов и площадей хранилищ и повышения радиологической безопасности [21].

Главной цель обработки твёрдых радиоактивных отходов является сокращение их объёма и надёжная фиксация в них радиоактивных веществ и различных опасных примесей [21].

Для концентрирования радиоактивных отходов применяют такие методы, как измельчение, сжигание, компактирование и суперкомпактирование [21].

Технологии измельчения применяют для крупногабаритных отходов, например, изношенных ионообменных фильтров, загрязнённого металлолома, для удобства последующего обращения с ними (транспортировка, сжигание, прессование, хранение) [21].

Для измельчения используют специальные стационарные режущие машины, например, гильотины, а также передвижные режущие установки, например, промышленные пилы, ножницы, электродуговые резаки и горелки. Новосибирский завод «Тяжстанкогидропресс» изготавливает гидравлические ножницы модели Н-1600 с усилием 15,7 МН, что позволяет резать особо прочные металлические конструкции и агрегаты реактора, вышедшие из строя или сильно корродированные [21].

После измельчения радиоактивные отходы обычно прессуют, а затем либо отправляют на дальнейшую переработку, либо на хранение, либо заключают в матрицу, чтобы исключить возможность миграции радиоактивных веществ в окружающую или рабочую среду [21].

**4.3.2 Сжигание**

Применение технологии сжигания позволяет уменьшить объём твёрдых радиоактивных отходов в (20ч90) раз, а массу в (10ч20) раз, что делает данный метод одним из самых эффективных. Образующуюся радиоактивную золу заключают в битумную или цементную матрицу [21].

Данный метод дорог и имеет некоторые недостатки [21]:

образование в процессе сжигания большого объёма аэрозолей и газов, причём радиоактивных, поэтому метод требует организации системы газовой очистки;

в зависимости от морфологического состава отходов режимы горения выбираются для обеспечения полноты сгорания топлива и вещества и отсутствия взрывоопасных концентраций водорода;

сжигание некоторых типов твёрдых радиоактивных отходов приводит к образованию диоксинов и фуранов.

Запрещается сжигать радиоактивные отходы вместе с нерадиоактивными (промышленный, бытовой мусор), а также радиоактивные отходы, которые содержат взрывоопасные и сильно токсичные вещества [43].

Из-за разнообразного состава радиоактивных отходов и требований к методам сжигания имеется большое количество технологий и схем сжигания.

При сжигании используют печи с контролем, избытком воздуха, вращающиеся печи, печи с кипящим слоем, пиролизные печи [21].

Наибольшее распространение получило сжигание отходов в трёхкамерных печах. В первой камере происходит пиролитическое разложение или сжигание отходов, а во второй и третьей идёт дожег продуктов неполного сгорания, которые поступают из первой камеры [21].

Обычно сжиганию подвергаются твёрдые радиоактивные отходы органической и горючей составляющей, например, резиновые прокладки, различные пластмассы, спецодежда, деревянные поддоны, коробки, упаковки, ветошь с удельной активностью до 4 · 10-7 Бк/кг [21].

Также эффективным способом сжигания являются установки с плазменным источником нагрева. Это позволяет повысить коэффициент сокращения объёма отходов по сравнению с обычными печами и перерабатывать широкий диапазон несортированных отходов. Такие установки позволяют нейтрализовать загрязнённое стекло, металлический лом и различную изоляцию. После сжигания получается стеклоподобный шлак, в котором уже сконцентрированы радионуклиды и отходящие газы; такой шлак заметно превосходит композиции цементных компаундов; обладает хорошей химической стойкостью. После окончания операции шлак помещается в контейнеры и транспортируется в места хранения или захоронения [21].

**4.3.3 Компактирование**

Метод компактирования заключается в прессовке твёрдых радиоактивных отходов под давлением. В процессе компактирования объём отходов уменьшается в (2,5ч9) раз. На рисунке 4.3 представлен внешний вид спрессованных твёрдых радиоактивных отходов.

При прессовании необходимо специальными техническими средствами производить отвод жидкости и удаление влаги, которая выделяется из отходов. Также при осуществлении процесса могут образовываться радиоактивные аэрозоли, которые необходимо улавливать газоочистным оборудованием. Компактированию не подлежат отходы, содержащие взрывоопасные и легковоспламеняющиеся вещества [43].



Рисунок 4.3 - Внешний вид спрессованных твёрдых радиоактивных отходов

Обычно твёрдые отходы транспортируют в металлических бочках, которые затем могут быть использованы в качестве ёмкости компактора.

У данного метода имеются серьёзные недостатки [21]:

* компактирование неприемлемо для отходов, которые содержат различные взрывоопасные и легковоспламеняющиеся вещества;
* компактирование сложно осуществимо для отходов, содержащих загрязнённую арматуру, а также для крупногабаритных деталей и оборудования;
* компактирование сопровождается образованием больших объёмов пыли. Для устранения этого недостатка прессовальное оборудование должно размещаться в изолированных помещениях с пылеочистным оборудованием.

В Германии и Бельгии для уплотнения средне- и высокорадиоактивных отходов агрегатов реакторов применяется прессование в брикеты, после которого производится заливка пустот различными сплавами, включающие в себя свинец, сурьму и олово. После этого брикеты заключают в контейнеры для последующего захоронения или хранения. Применяется также включение твёрдых радиоактивных отходов в бетонную матрицу после прессования, а также включение в расплав стекла. Также возможно смешение измельчённых отходов с оксидом алюминия с последующим прессованием и спеканием при температуре (1100ч1200) °С [22].

При компактировании могут возникать некоторые проблемы - до закрытия бочки крышкой отходы могут увеличиваться в объёме из-за снятия усилия. Для устранения данного недостатка отходы смешивают с эластичными материалами и размещают их в нижней части бочки, также возможно усиление крышки специальной рамкой. Для прессов с низким усилием плотность обработанных отходов достигается (390ч790) кг/м3 [21].

**4.3.4 Суперкомпактирование**

В суперкомпакторах применяется пресс, способный развивать усилие (10ч21) МН. Прессование контейнеров в суперкомпакторах происходит после предварительного компактирования. Плотность обработанных отходов после суперкомпактирования достигает, в зависимости от состава радиоактивных отходов, (900ч3400) кг/м3. Коэффициент уменьшения зависит от твёрдости отходов и составляет для мягких от (5:1) до (10:1), для твёрдых - от (2:1) до (8:1) [21].

Суперкомпактор может быть выполнен как в виде стационарной установки, так мобильной - монтируется на нескольких прицепах. Недостатком является ограничение по влажности отходов и наличие взрывоопасных и горючих веществ, а также возникновение аэрозолей. Для устранения аэрозольного загрязнения помещение с суперкомпактором оборудуют вентиляцией и газоочистными фильтрами [21].

Отходы в суперкомпактор поступают в специальных контейнерах; полученные после обработки «шайбы» заключают в другие контейнеры меньшего размера и включают в битумную матрицу. И в таком виде отходы поступают на хранение или захоронение [22].

Стоимость производства и обслуживания установок компактирования и суперкомпактирования гораздо дешевле, чем сжигающих установок, что является оптимальным вариантом для атомных электростанций с небольшими объёмами твёрдых радиоактивных отходов. Для крупных атомных электростанций и центров переработки твёрдых радиоактивных отходов ситуация обратная [22].

**4.3.5 Способы дезактивации металлических радиоактивных отходов**

По различным оценкам во всём мире накоплено около 12 миллионов тонн металлических радиоактивных отходов, в том числе 1,5 миллиона тонн в Российской Федерации [7].

При эксплуатации атомных электростанций постоянно возникает потребность снижения уровня радиоактивности различных деталей оборудования и агрегатов реактора. С экономической точки зрения невыгодно заменять загрязнённое радионуклидами оборудования на новое, поэтому требуется применение методов дезактивации поверхностей металлических деталей без изменения их физических и конструктивных свойств [21].

Процесс дезактивация металлических радиоактивных отходов включает в себя дезактивацию, регенерацию электролита и кондиционирование вторичных отходов [22].

Существует несколько групп способов дезактивации металлических радиоактивных отходов и изделий [21]:

* жидкостные;
* термические;
* механические.

Жидкостный метод дезактивации нашёл наиболее широкое применение. Данный метод заключается в обработке загрязнённых металлов дезактивирующими растворами, а также может применяться в сочетании с другими методами [21].

Дезактивация осуществляется с применением различных растворов щелочей, ПАВ, кислот и их комбинаций. Самым эффективными являются кислотные способы обработки серной, соляной и азотными кислотами с добавлением различных присадок. Но появляется проблема утилизации объёмов отработанных растворов [22].

Обработка средне- и низкоактивных металлических радиоактивных отходов идёт в две стадии. На первой производится снижение активности отходов, чтобы было возможно безопасное обращение с ними. Здесь целесообразно применение жидкостных методов. На второй стадии производится уменьшение объёмов отходов. Здесь целесообразно использовать методы переплавки [22].

На практике часто применяется дезактивация в растворах кислот, электрохимическая дезактивация в кислых и слабощелочных электролитах. Общим принципом химической дезактивации является окисление металлов, которые входят в состав поверхностного слоя, с последующим их растворением в присутствии комплексообразователей. Метод эффективен для нержавеющей стали, медных и алюминиевых сплавов [21].

Термические способы дезактивации основываются на прокаливании металлических отходов в печах и последующим удалением нескольких слоёв в виде окалины. Главным недостатком метода является то, что после такой обработки дальнейшее использование конструкций невозможно. Также термические методы требуют значительного расхода топлива или электроэнергии и наличия газоочистного оборудования; термическая обработка сопровождается образованием больших объёмов вторичных отходов - пыль, шлак, окалины и конденсатов [21].

Также возможна и переплавка металлических радиоактивных отходов. При плавлении происходит гомогенное распределение радионуклидов по всему объёму скрапа, приводя к значительному понижению удельной активности металла. При этом идёт частичная очистка скрапа из-за выделения радионуклидов из расплавов в шлам и с частичками газами, улавливаемыми газоочистным оборудованием. Эффективность дезактивации составляет (10ч40)% [22].

Плавление является экологически безопасным, но полученная продукция из переплавленного металла имеет ограничения в применении на объектах промышленности и энергетики из-за невозможности полной очистки от радионуклидов [22].

Количество отходов при переплавке зависит от качества металлического скрапа и различных примесей в нём. При плавлении образуется 3-6% шлама и 0,15% осадка от объёма скрапа [21].

Механические способы дезактивации основаны на физическом воздействии на обрабатываемый металл различными абразивными материалами. Такой способ дезактивации обеспечивает удаление слоя металл, загрязнённого радионуклидами, на глубину (12ч700) мкм, что эффективно для глубинных загрязнений. Недостатком являет образование большого количества вторичных отходов и неравномерная обработка поверхности [21].

**4.3.6 Плавление в электрической печи**

При применении данного метода плавление твёрдых радиоактивных отходов идёт при воздействии на них высокой температуры, которая возникает при протекании электрического тока в расплаве между угольным электродом и расплавом металла, находящегося внизу установки [23].

На данный момент технология нашла применение на Курской атомной электростанции; расход электроэнергии на 1 кг твёрдых радиоактивных отходов (1,4ч2,1) кВт/час [23].

При воздействии температуры в (1400ч2100) °С на отходы их органические составляющие сгорают, а продукты горения переходят в газообразное состояние; все неорганические компоненты отходов превращаются в расплав. Образующиеся газообразные вещества удаляются посредством вентиляции, а затем поступают в газоочистное оборудование. Следует отметить, что при плавлении состав продуктов переработки изменяется [23].

В нижней части установки находится ёмкость с расплавленными металлическими отходами («болото»), которая обеспечивает плавление всех неметаллических отходов; загрузка отходов идёт по мере образования данного «болота». Ёмкость с расплавом служит передатчиком тепла от электрической дуги отходам, до образования нужного объёма расплава. После этого теплота выделяется благодаря электротермическому сопротивлению расплава [23].

Загрузка твёрдых радиоактивных отходов осуществляется через специальный канал по мере плавления предыдущего объёма отходов. После всего этого расплав сливается в специальные ёмкости или упаковку. Устанавливается определённый уровень активности расплавленного металла, после достижения которого металл заменяется другой нерадиоактивной порцией. Такой расплав состоит из различных тяжёлых металлов, соединений железа и радиоактивных элементов. После слива расплава происходит его охлаждение, в результате чего образуется стеклообразный компаунд. Такая система обладает высокой прочностью и стойкостью к выщелачиванию [23].

Для уменьшения объёмов образующихся диоксинов в зоне плавления ограничивают поступление кислорода, а отходящие на очистку газы быстро охлаждают до температуры (40ч50) °С.

Данная технология применяется в чёрной металлургии для извлечения металлических соединений из шлаков [7].

Цезий 137Сs и его соединения захватываются частицами пыли и газами, переносятся системой вентиляции и улавливаются газоочистным оборудованием. Затем полученные осадки отправляются на дальнейшую переработку [23].

Путём удаления 60Со и 137Сs метод позволяет снизить удельную активность обрабатываемых радиоактивных отходов, в результате чего отходы классифицируются как низкоактивные (рисунок 4.4) [23].

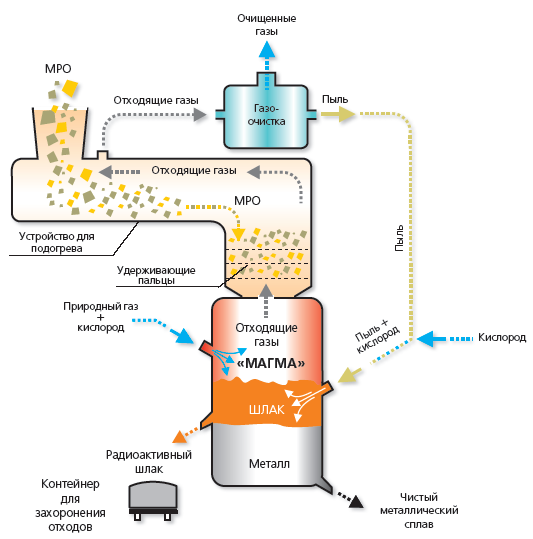


Рисунок 4.4 - Схема комплексной переработки твёрдых радиоактивных отходов

После слива расплава металлов и остывания радионуклиды 60Со и соединения железа образуют стабильные соединения [23].

Образующиеся в результате обработки низкоактивные отходы помещаются в защитные контейнеры и транспортируются в хранилища [22].

Данный метод характеризуется такими положительными моментами [23]:

* метод не требует сортировки;
* в результате переработки происходит очень высокое сокращение объёмов отходов;
* создание устойчивых к механическим и химическим воздействиям блоков отверждённых отходов;
* значительная дезактивация металлических радиоактивных отходов;
* перевод отходов в результате обработки из высокоактивных в низкоактивные;
* значительное снижение образования диоксинов.

Деятельность по обращению с радиоактивными отходами, в том числе методы обработки, кондиционирования и захоронения (хранения) основывается на концепции предотвращения или ограничения попадания радионуклидов из отходов в окружающую среду посредством установленных лимитов, которые приводятся в НРБ-99. Для того чтобы не допустить попадания и миграции радионуклидов из отходов в окружающую среду, такие отходы подвергаются переработке, которая включает такие стадии, как предварительная обработка (сбор, сортировка, анализ), обработка, кондиционирование и захоронение; между данными стадиями возможны промежуточные - транспортировка и временное хранение. Методы обработки твёрдых радиоактивных отходов включают такие, как сжигание, измельчение, компактирование (суперкомпактирование), дезактивация и плавление.

В следующем разделе представлены методы обработки и кондиционирования радиоактивных отходов.

5. Методы обработки и кондиционирования жидких радиоактивных отходов

**5.1 Методы очистки жидких радиоактивных отходов**

В связи с тем, что законодательство РФ запрещает сброс радиоактивных отходов в водные объекты, все жидкие радиоактивные отходы на атомных электростанциях собираются в специальные баки-хранилища радиоактивных отходов, а после этого направляют на переработку. При переработке из воды извлекаются радиоактивные вещества и химические загрязнители, а очищенную воду возвращают в технологический цикл или сливают. При невозможности полной очистки или возврата части воды в технологический цикл жидкие радиоактивные отходы подвергаются кондиционированию. Таким образом, происходит снижение объёмов отходов, подлежащих длительному захоронению [21].

**5.1.1 Термические методы**

Термические методы переработки жидких радиоактивных отходов являются наиболее распространёнными и удобными методами с высокой степенью очистки, коэффициент очистки составляет (104ч106). Такие методы предполагают использование тепла для концентрирования и очистки жидких радиоактивных отходов на основе перевода воды в пар [24].

Обычно термический метод представляет собой дистилляцию (упаривание) и сушку. Метод отличается простотой и эффективность.

Если в задачу метода входит концентрирование вещества, то он называется упариванием, а если решается проблема очистки и получения кондиционного конденсата, то дистилляцией. Выделяют три основных типа такие выпарных аппаратов: выпарные аппараты с принудительной циркуляцией, с естественной циркуляцией и перегонные кубы [24].

Дистилляция осуществляется в специальных перегонных кубах, при этом подвод тепла осуществляется водяным паром через стенку куба. Это обеспечивает хорошую теплопередачу при отсутствии контакта теплоносителя с радиоактивным раствором [24].

При дистилляции возникает большая проблема - загрязнение паров и конденсата радионуклидами происходит из-за молекулярного, капельного и пенного уноса. Обычно в условиях дистилляции радионуклиды находятся в нелетучем состоянии, вследствие этого молекулярный унос не лимитирует коэффициенты очистки. Капельный унос (или аэрозольный) происходит в результате разрыве оболочек пузырьков водяного пара при выходе из жидкости и дробления жидкости. Величина уноса зависит от скорости пара. Для очистки пара от капельного уноса применяют сепараторы с высотой, которая должна быть больше высоты подъёма капель. Для очистки пара от аэрозолей используют жалюзийные отбойники - более эффективный инерционный механизм. Иногда же такая очистка бывает недостаточной, вследствие чего применяют дополнительно барботажные устройства в виде тарельчатых или насадочных колонн - очистка пара в них идёт в результате диффузионного и инерционного эффектов [24].

При дистилляции степень очистки может повыситься, если для переупаривания использовать тепло соковых паров, которое полностью аккумулируется в конденсате с последующим самоиспарением его при более низком давлении; также в результате этого не увеличиваются энергетические затраты, коэффициент очистки достигает при этом 108 [24].

Для устранения пенного уноса применяются не достаточно эффективные пеногасители, выполненные из силикона, а также проведение упаривания отходов в кислой среде [24].

**5.1.2 Сорбционные методы**

Сорбционные методы основываются на поглощении радионуклидов твёрдой фазы по механизмам ионного обмена, адсорбции, кристаллизации и другие [2].

Сорбция проводится в динамических и статистических условиях. При динамической сорбции фильтрование исходных жидких отходов проводится непрерывно через сорбент, а при статической сорбции проводится временный контакт двух фаз при перемешивании с дальнейшим разделением [2].

Динамическая сорбция проводится в намывных или насыпных фильтрах. Отличие заключается в том, что в насыпных фильтрах применяют сорбенты в виде зернистого прочного материала; в намывных фильтрах же в качестве сорбента применяют неорганические и органические материалы искусственного и органического происхождения [24].

Для очистки жидких радиоактивных отходов от радионуклидов применяют сорбенты (иониты) таких типов, как КБ-51-7, КУ-2-8 (сильнокислый катионит), АВ-17-8 (сильноосновный анионит), АН-31 и АН-2ФН (слабоосновные аниониты), вермикулит. Сорбенты выпускают в виде гранул, которые пере применением замачивают в специальном растворе для активации. Все перечисленные сорбенты обладают высокими коэффициентами очистки и хорошими фильтрующими свойствами [24].

Ионообменные гетерогенные реакции обратимы, что позволяет осуществлять регенерацию сорбента, но обуславливает создание условий для вымывания радионуклидов при хранении отработанного сорбента. Обменная ёмкость сорбента почти вся используется на сорбцию макрокомпонентов - солей, из-за их схожести со свойствами микрокомпонентов. Тогда для того, чтобы протекала сорбция микрокомпонентов (радионуклидов), необходимо проводить предварительное обессоливание. Иначе это будет приводить к частым регенерациям сорбента и, следовательно, повышением стоимости очистки [24].

Жидкие радиоактивные отходы с высокой засолённостью невыгодно очищать органическими сорбентами из-за того, что при регенерации сорбента требуется 2-2,5 кратный избыток щёлочи и кислоты (идёт удорожание очистки) [24].

Ситуация предстаёт обратная для радионуклидов, у которых свойства отличны от свойств макрокомпонентов. Многовалентные радионуклиды хорошо сорбируются на катионите в присутствии натрий-ионов. Поэтому находящиеся в жидких радиоактивных отходах натрий-ионы не сорбируются, что приводит к заметному снижению объёмов регенератора, вторичных отходов и частоты регенерации [24].

Применение синтетических органических сорбентов позволяет удалить из жидких радиоактивных отходов всё радионуклиды в ионной форме. Но такие сорбенты имеют некоторые ограничения по применению, которые перерастают в серьёзные недостатки. При использовании таких сорбентов радионуклиды в молекулярной и коллоидной форме из жидких радиоактивных отходов не удаляются. Также если в жидких радиоактивных отходах имеются коллоиды или органические вещества с крупными молекулами, то сорбент теряет свои свойства и выходит из строя из-за забивки пор [2].

На практике перед проведением ионного обмена для удаления коллоидных частиц применяют фильтрование на намывных фильтрах. Применение же метода коагуляции вместо фильтрования приводит к образованию больших объёмов отходов. Органические соединения из жидких радиоактивных отходов удаляются ультрафильтрацией. Заметен один из главных недостатков применения ионного обмена для очистки жидких радиоактивных отходов - это необходимость проведения предварительной подготовки таких отходов [24].

Для очистки высокоактивных жидких отходов синтетические органические сорбенты не применяют в виду их неустойчивости к воздействию высокоактивного излучения. Такое воздействие приводит к разрушению сорбента [24].

Для обеспечения высокой степени очистки процесс ионообменной очистки проводят в два этапа. На первом этапе из жидких отходов удаляют соли и небольшие количества радионуклидов, а уже на втором этапе проводят непосредственное удаление нуклидов из обессоленных жидких отходов. Регенерацию сорбента проводят противотоком. Чтобы повысить производительность фильтров скорость в начале цикла устанавливается в (90ч100) м/ч, а в конце цикла снижается до значений в (10ч20) м/ч [24].

Очистка обессоленных отходов даёт возможность применять эффективные фильтры смешанного действия (их регенерация затруднена) и намывные фильтры в виду того, что при очистке таких отходов необходимость в регенерации минимальна. Благодаря смешенной загрузке анионитов и катионитов в формах Н+ и ОН-, устраняется противоионный эффект, и это приводит к повышению степени очистки и возможности увеличения скорости фильтрования до 100 м/ч [24].

Все жидкие радиоактивные отходы содержат в том или ином количестве взвеси, которые обладают склонность к молекулярной и ионообменной сорбции. Также продукты коррозии с гидратированными окислами железа, марганца, кобальта и никеля могут сорбировать микрокомпоненты. В связи с этим предлагается отделять взвеси для заметного улучшения степени очистки жидких отходов [21].

Для удаления из отходов таких компонентов, как 137Cs, 99Sr, 60Co, используют добавление селективных сорбента, в данном случае - наноглины (монтмориллонит), что обеспечивает 98% очистку от данных компонентов. Сорбцию на селективных компонентах проводят в сочетании с коагуляцией [24].

Химическое осаждение является одним из эффективных вариантов статической сорбции. К достоинствам химических методов можно отнести низкую стоимость, доступность реагентов, возможность удаления радиоактивных микрокомпонентов в ионной и коллоидной формах, а также переработки засоленных жидких отходов [2].

Главной особенностью химического осаждения является селективность к различным микрокомпонентам, особенно к 137Cs, 106Ru, 60Co, 131I, 90Sr. Коагуляция и умягчение являются методами химического осаждения; при применении этих методов идёт очистка от радионуклидов в коллоидной, ионной и молекулярной формах [24].

При применении содово-известкового умягчения CaCO3 и MgOH2 выпадают в осадок и служат коллекторами для 90Sr, который удаляется кристаллизацией с CaCO3. Также использование данного метода позволяет удалять 95Zr и 95Nb [24].

Цезий (137Cs) удаляют при помощи осаждения ферроцианидов железа, никеля (самый эффективный), меди и цинка, при этом коэффициент очистки составляет 100 [24].

Рутений (106Ru) и кобальт (60Co) плохо концентрируются в осадках из-за большого количества их химических форм. Удаление рутения производится такими сорбентами, как сульфид кадмия, сульфид железа, сульфид свинца. Очистка от кобальта эффективна на оксигидратах хрома и марганца. Радиоактивный йод 131I производится соосаждением иодидом меди или серебра [24].

Химическое осаждение завершается процедурами разделения фаз. При разделении фаз идёт осветление большей части жидких отходов и концентрирование шламов. Разделение фаз производится фильтрованием или воздействием на систему силовым полем, которое может быть гравитационным (отстойники и осветлители) и инерционным (центрифуги). Из-за образования больших объёмов пульп очень высокой влажности отстойники применяют крайне редко, используя для этого осветлители. Осветление в таких аппаратах идёт с большими скоростями и обеспечивает высокую степень очистки [24].

Для дальнейшего осветления жидкости проводят фильтрование. Применение насыпных фильтров обеспечивает более тонкое фильтрование, такие фильтры имеют большую производительность, а при их регенерации образуется небольшое количество отходов. Насыпные фильтры получили большее распространение из-за простоты и надёжности, не смотря на образование большого количества вторичных отходов при регенерации [24].

**5.1.3 Мембранные методы**

Для очистки жидких радиоактивных отходов (из мембранных методов) рекомендуется применять ультрафильтрацию, обратный осмос и электродиализ. Главная задача этих методов - это разделение жидкости и солей. При обратном осмосе и ультрафильтрации такое разделение достигается прохождением через полупроницаемые мембраны воды, а при электродиализе - ионов, под действием перепадов давления и изменении потенциалов. В отличие от обратного осмоса, при ультрафильтрации используются мембраны с крупными порами, при этом требуются меньшие перепады давления [24].

При использовании мембранных методов не происходит образование новых фаз, поэтому эффективность очистки от этого не зависит. По энергетически затратам мембранные методы превосходят дистилляцию. Также мембранные методы отличаются образованием сравнительно малых объёмов вторичных отходов [24].

Но методы имеют некоторые ограничения по содержанию соли в обрабатываемых жидких радиоактивных отходах. Электродиализ рекомендуется применять при концентрации солей в отходах не менее (200ч410) мг/л. Максимальный придел содержания солей в обрабатываемых отходах определяется экономическим фактором - при высоком солесодержании возрастают затраты электроэнергии. Обратный осмос рекомендуется применять при содержании солей в отходах в (0,6ч5,1) г/л. При меньших концентрациях рекомендуется применять ионный обмен, а при больших - упаривание [24].

Также имеются ограничения на условия применения мембранных методов. Допустимые значения рН для обратного осмоса составляет (3ч9), а максимальная температура (41ч52) °С. Мембраны электродиализных установок чувствительны к окислителям. Также необходима предварительная обработка жидких отходов от коллоидов методом коагуляции (хотя при этом также извлекаются многовалентные радионуклиды). На степень очистки очень влияют конструкция мембраны и её материал [24].

В жидких радиоактивных отходах изотопы 95Zr, 144Ce, 103Ru, 60Co, 50Mn, 51Cr составляют большую часть нуклидов, в результате чего очистка отходов от радионуклидов методом обратного осмоса выше, чем при обессоливании электродиализом. Наличие детергентов в жидкости хорошо сказывается на степени очистки из-за появления на поверхности мембран упорядоченных структур воды [24].

Подводя итоги, можно определить направления применения данных мембранных методов очистки от радионуклидов.

Для обратного осмоса предпочтительная очистка низкоактивных жидких отходов с небольшой засолённостью (например, отходы дезактивации низкой активности, борсодержащие воды и прачечные воды). Из-за того, что электродиализ требует тщательной предварительной очистки, требует более cложного аппаратурного оформления, имеет большие экономические затраты, чем обратный осмос, метод находит применение в частных отдельных случая очистки среднeактивных и низкоактивных жидких отходов. Ультрафильтрация находит применение лишь в качестве самостоятельной операции очистки; данным методом можно очищать отходи, имеющими высокое содержание коллоидных частиц, например, десятки грамм на литр. Также ультрафильтрацию рекомендуется использовать (вместо фильтрования) в качестве подготовки жидкости перед очисткой отходов ионным обменом и обратным осмосом [24].

**5.2 Кондиционирование жидких радиоактивных отходов**

**5.2.1 Обезвоживание и кальцинация**

Перед процессами отверждения жидкие радиоактивные отходы необходимо подвергнуть обезвоживанию для получения концентрата солей и радионуклидов. Для этого нужно добиться удаления свободной воды путём кипения насыщенного раствора химических соединений, которые входят в состав жидких радиоактивных отходов. В подавляющем большинстве случаев адсорбированную и свободную влагу можно удалить при температуре менее 140 °С. Температура удаления кристаллизационной воды зависит от сил взаимодействия между молекулами и структуры кристаллической решётки [24].

Для обезвоживание концентратов ЖРО применяют такие способы, как механический и термический. Механическое обезвоживание производится различными центрифугами и вакуумными фильтрами. Способ не требует больших энергетических затрат и приемлем для пульп высокой влажности. Содержание воды в обезвоженных пульпах составляет (50ч75)% и зависит от способа обезвоживания и состава пульп [24].

Кальцинация (прокаливание) жидких радиоактивных отходов представляет собой процесс обработки отходов при нагревании их до температуры (450ч900) °С. В результате такой обработки отходы превращаются в кальцинат, который содержит в себе смесь всех не испарённых и не разрушенных веществ, содержащихся в исходных отходах. Объём отходов при этом уменьшается в (9ч10) раз [24].

При обезвоживании (методом упаривания) одновременно проходят процессы разложения термически нестойких и радиационно нестойких соединений. Температура разложения нитратов щелочноземельных элементов составляет 400 °С, а нитраты железа, циркония и алюминия разлагаются при меньшей температуре, которая составляет (250ч300) °С [2].

Одним из главных требований к процессу обезвоживания является необходимость обеспечения полного разложения всех органических соединений. Присутствие органики при дальнейших процессах кондиционирования приводит к пиролизу, в результате которого образуются углеводороды, оксиды углерода и водород. Смесь этих газов при определённой концентрации может привести к взрыву [24].

При термической обработке органическая составляющая жидких отходов может подвергнуться неполному окислению с выделением кислорода, воды и углекислого газа, а также пиролизу и дальнейшему образованию новых органических соединений. Появляется опасность тепловыделения при разложении органики, например, при окислительно-восстановительных реакциях с другими компонентами отходов. Такое выделение тепла может привести к взрыву. Для предотвращения этих явлений нужно не допускать накопления органики в зоне высоких температур. Также необходимо повысить отвод тепла посредством повышения поверхности контакта обезвоженных продуктов с окружающей средой [24].

При кальцинации образуются газообразные радиоактивные соединения цезия и рутения, что подавляется наличием в отходах SiO2 и Al2O3. Также при кальцинации образуются термостойкие силикаты цезия и уранаты цезия. При обработке жидких радиоактивных азотнокислых отходов образуется оксид рутения (RuO4); его образование на стадии кальцинации благоприятствует разложению нитратов [24].

Кальцинаты имеют недостаточную теплопроводность, химическую устойчивость и обладают плохой механической твёрдостью. Поэтому без должной дальнейшей обработки возникают проблемы при их транспортировке и хранении. Для улучшения свойств кальцинатов предлагается проводить спекание при высокой температуре (выше, чем при кальцинации). Для эффективного проведения спекания необходимо добиться повышения степени закрепления радионуклидов с минералами, которые содержатся в отходах. Это достигается добавлением при спекании определённых минеральных добавок, например, глины. При этом сначала происходит адсорбция веществ кальцина на поверхности глины, а при дальнейшем нагревании диффузия их вглубь частиц глины; данный процесс может сопровождаться образованием различных силикатов [2].

В результате спекания образуются прочные и стабильные керамические материалы.

**5.2.2 Отверждение жидких радиоактивных отходов**

Для отверждения жидких радиоактивных отходов используют связующие материалы, которые разделяют на три группы:

термореактивные - полиэфирные и карбамидные смолы;

неорганические - гипс, цемент;

термопластичные - битум.

Связующие материалы из неорганической и термопластичной групп не были специально созданы для целей отверждения жидких отходов, а были позаимствованы из строительства, где используются как изолирующие или строительные материалы [24].

Для связующих материалов установлены определенные требования: дешевизна, недефицитность, прочность, биостойкость, хорошая совместимость с химическими элементами концентратов, радиационная стойкость. Поэтому во многих странах с развитой атомной энергетикой получили широкое распространение такие связующие, как битум и цемент [24].

**5.2.2.1 Битумирование**

Наибольшее распространение в практике в качестве связующего компонента получил битум. Битум представляет собой продукт перегонки нефти или угля. Причиной широкого применения битума является его термопластичность, которая позволяет при его нагревании включать в него концентраты радиоактивных отходов с получением гомогенного материала, обладающего хорошими показателями гидростойкостью. Также битум характеризуется низкой чувствительностью к составу включаемого объёма жидких отходов [24].

При контакте компонентов отходов с битумом свойства последнего изменяются из-за их химического взаимодействия. По характеру химического взаимодействия солевых компонентов с битумом данные компоненты выделяют в три группы:

инертные соли сильных кислот и оснований (в условиях битумирования) - хлорид натрия, нитрат натрия;

азотнокислые соли, которые при битумировании проявляют окислительные свойства, неустойчивые, например, нитрат железа, нитрат аммония, нитрат алюминия;

соли сильных оснований и щёлочи - гидроксид натрия, карбонат натрия, фосфат натрия [24].

Соли первой группы с битумом не реагируют, соли второй группы окисляют битум и делают его крайне хрупким (большое количество таких солей в отходах при битумировании не допустимо), компоненты из третьей группы вызывают омыление органики битума, в результате чего образуются органические кислоты, которые эмульгируют битум, уменьшая его водостойкость.

В жидких радиоактивных отходах российских атомных электростанций гидратообразующи солей в общем объёме достаточно мало (2ч3)%; у таких солей плохая совместимость с битумом.

Концентраты отходов содержат некоторое количество влаги, которая в процессе битумирования удаляется при температуре кипения, в результате чего идёт частичная или полная дегидратация солей. Гидратация солей же может проявиться после охлаждения системы, что создаёт условия для движения остатков влаги вглубь смеси. От этого происходит разбухание смеси и ухудшение гидроизоляции. В результате всего этого в отдельных случаях уменьшают степень наполнения битума. Такой же эффект вспучивания наблюдается при включении в битум различных ионообменных смол [24].

Содержащиеся в концентратах детергенты нарушают целостность битума и делают его более текучим, вследствие чего ухудшаются гидроизолирующие свойства. Поэтому перед битумированием рекомендуется их удалять до определённых показателей.

Чтобы уменьшить вымываемость опасных радионуклидов из системы, необходимо их переводить в нерастворимую форму или же «закрепить» на сорбенте. Для связывания 137Cs в смесь битум-концентрат вводят ферроцит никеля, для 60Co используют сульфат кобальта, для 90Sr - сульфат бария, что существенно снижает вымываемость данных веществ. Следует отметить, что скорость вымывания зависит от времени контакта с водой [24].

Не смотря на все меры стабилизации радионуклидов, в битумных компаундах идёт излучения элементарных частиц. Под действием такого излучения одновременно идёт скрепление углеродных цепей и их деструкция, при этом происходит выделение водорода, метана, угарного газа и тепла.

При образовании газов происходит набухание компаунда, а их выделение в месте хранения компаунда приводит к образованию взрывоопасных смесей. Выделение тепла может приводить к разогреву компаунда и его расплавлению, что требует организации системы отвода тепла, но расплавление характерно для содержащихся в концентратах радионуклидов высокой активности, которые не характерны для отверждённых концентратов атомных станций. Битумные смеси хранят в специальных бочках в железобетонных полостях или же наливом в подземных полостях [24].

При перевозке и хранении смесей установлены требования по температуре, которая не должна превышать (100ч125) °С. Данное требование исключает расслаивание битумной смеси из-за увеличения содержания солей [24].

При определённых условиях или ненадлежащем выполнении техники безопасности (например, хранение блоков в незащищённом грунте) при хранении битумные смеси могут быть подвергнуты биокоррозии вследствие поедания смеси почвенными бактериями. Биокоррозия приводит к нарушению целостности блоков и попадании радионуклидов в почву [2].

В качестве заменителя битума можно использовать отходы и продукты нефтеперегонки и различных производств. На эту роль хорошо подходит асфальт деасфальтизации гудрона и диметилтерефталат. По основным характеристикам они ничуть не уступают битуму, к тому же имеют стоимость гораздо ниже [21].

Для улучшения свойств битума рекомендуется использовать так называемое «зелёное» масло (продукт пиролиза керосина). Данная добавка уменьшает вязкость битума, позволяя экономить некоторые его объёмы [24].

**5.2.2.2 Цементирование**

Цементирование является одним из основных и эффективных методов отверждения концентратов жидких радиоактивных отходов. Положительными сторонами цементирования являются: простота процесса включения концентрата в цемент, отсутствие пластичности и негорючесть. Отрицательными сторонами являются: наличие влаги в цементном компаунде, значительная степень вымываемости радионуклидов по сравнению с битумированием [24].

При смешении концентрата с цементом прочность цементного камня уменьшается. Чтобы увеличить степень наполнения (объём вводимого концентрата) некоторыми авторами рекомендуется использовать подсушенные концентраты.

Чтобы уменьшить вымываемость микрокомпонентов из цементного компаунда, радионуклиды сорбируют на особенных добавках (сланцы, бентонит) или же переводят в нерастворимые соединения. Например, при добавлении бентонита вымываемость радиоактивного цезия снижается до 70 раз. Также для уменьшения вымываемости применяют уменьшение пористости цементного компаунда, изменяя пропорции вода-цемент с 0,7 до 0,36; такая процедура приводит к уплотнению компаунда. В США в цементную систему добавляют силикат натрия, что улучшает все показатели данного метода [24].

Известно, что содержащаяся в концентратах жидких радиоактивных отходов борная кислота замедляет процесс затвердевания готового компаунда. Для устранения этого явления рекомендуется в смесь вводить специальные добавки, которые способны образовывать комплексные соединения с данной кислотой (например, в Германии для этого используют смесь песка, цемента и гипса) [24].

Отработанные ионообменные смолы как компонент жидких отходов имеют склонность к набуханию, из-за этого их цементирование имеет специфичные параметры: процесс требует невысокой степени включения в систему (10ч11)% и повышенное отношение вода-цемент (до 0,6). К тому же хорошие показатели получаются при выборе быстро твердеющего цемента. Для уменьшения показателей вымываемости радионуклидов из отверждённого продукта применяют добавки 2,4% вермикулита, причём механическая прочность системы не меняется [24].

Цемент имеет высокую радиационную стойкость. В цементированных отходах радиационному воздействию подвергается в основном вода, при этом возникает опасность образования склонных к взрыву смесей (при хранении). Этому способствует выделяющийся при радиолизе воды водород. Цементируемые отходы хорошо фильтруются благодаря пористости продукта, поэтому они не подвержены разбуханию вследствие выделения газа. Поэтому допускается цементирование отходов средней активности.

Цементирование жидких радиоактивных отходов обладает многими преимуществами. Метод отличается негорючестью и способность сохранять изначальную форму после затвердевания, цементная система непластична. Но всё же по показателям вымываемости и степени наполнения метод уступает методу битумирования. Метод цементирования может конкурировать с битумированием только при хранении цементных блоков в могильниках, с надёжной барьерной защитой.

Наряду с цементом в качестве матрицы может рассматриваться гипс. По многим характеристикам и свойствам гипс не уступает цементу. Как связующее в чистом виде гипс не рассматривается (необходимы добавки). Но растворимость гипса в воде ухудшает его водостойкость и повышает вымываемость радионуклидов и ограничивает его применение в данной сфере. Гипс может быть применён только в качестве дешёвого заменителя цемента, но при условии надёжной барьерной изоляции гипсовых блоков (в могильниках) [24].

**5.2.2.3 Использование термореактивных смол**

Из всей совокупности термореактивных смол применение в качестве матрицы для отверждения жидких радиоактивных отходов нашли карбамидные и полиэфирные смолы.

При использовании полиэфирной смолы производится смешивание обезвоженных (насколько это возможно) концентратов жидких радиоактивных отходов с мономерами смолы при добавлении катализатора. После смешивания, которое идёт в ёмкости, происходит затвердевание полученной смеси в результате явления полимеризации. Затвердевание идёт обычно в течение двух часов. Отверждённый продукт имеет высокие качества из-за отсутствия воды. Обеспечивается высокая степень включения в матрицу обезвоженных концентратов жидких отходов (58% по массе). Образующиеся блоки имеют отличную механическую прочность, термостойкость при (600ч890) °С. Также отмечается высокая стойкость монолитов к радиоактивному излучению; незначительное выделение газов, которое не приводит к вспучиванию продукта; водостойкость соответствует показателям битумных блоков [24].

Но применение полиэфирной смолы в качестве матрицы ограничивается её высокой стоимостью, которая в (3ч4) раза больше, чем у битума, что экономически невыгодно. Использование полиэфирной смолы целесообразно при отверждении небольших объёмов отходов. При использовании такой смолы необходимы различные реагенты, например, катализаторы и стирол, которые создают угрозы пожаров и взрывов, что требует значительных затрат на обеспечение соответствующих мер защиты и безопасности. Так как применение такой смолы требует значительного подсушивания концентратов, повышаются энергозатраты при работе барабанных вакуумфильтров [24].

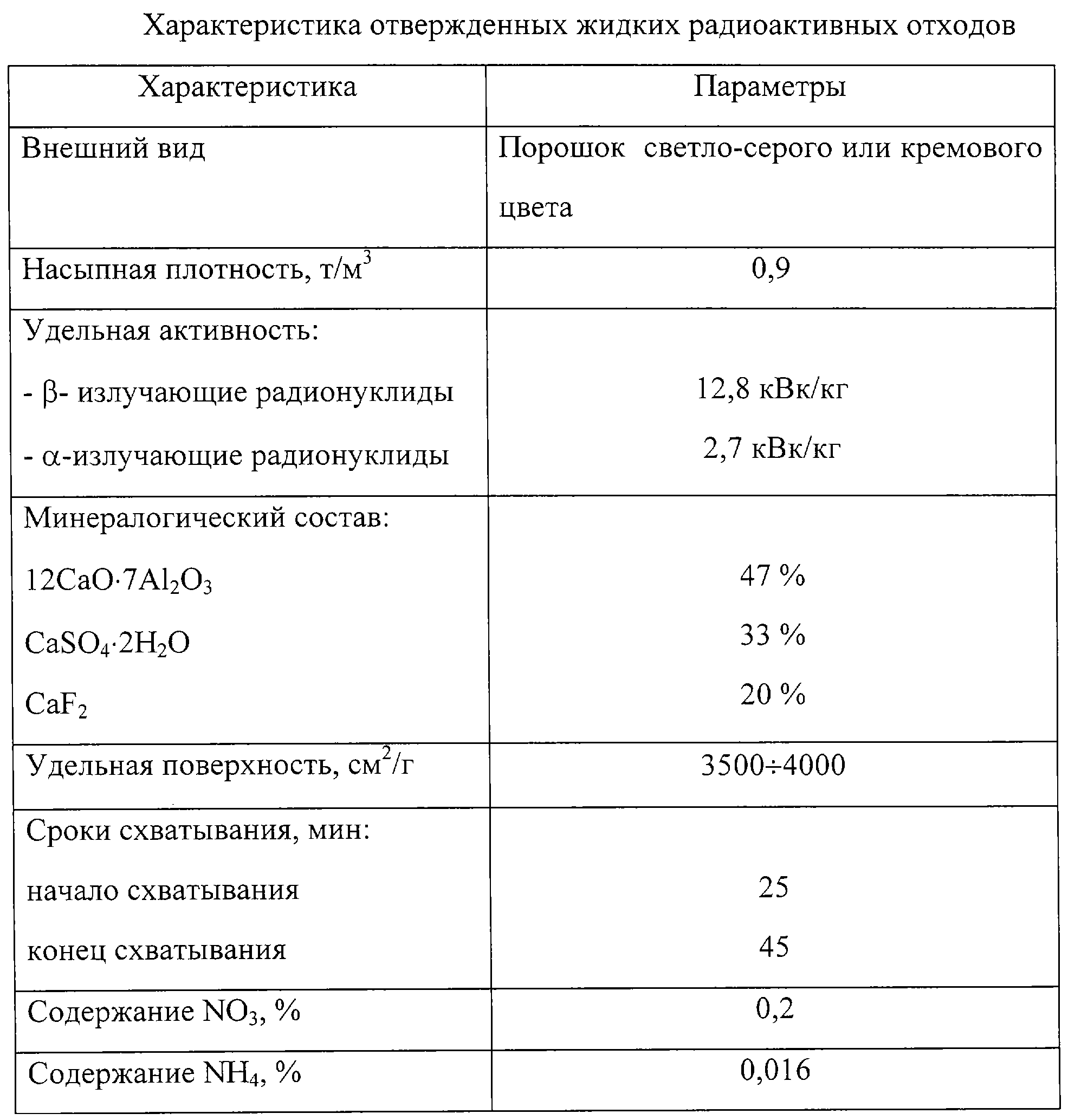
Карбамидную смолу применяют для отверждения пульп и кубовых остатков. Такую смолу применяют в виде (45ч65)% водной эмульсии. В результате этого отверждение идёт в водной среде, что приводит к включению воды в систему. Поэтому готовый отверждённый продукт имеет поры и отличается плохой водостойкостью [24].

Смешивание и затвердевание проводится при комнатной температуре с введение катализатора непосредственно в ёмкости, в которой готовый продукт затем отправляется на хранение и транспортируется.

Готовый продукт имеет термическую стойкость при воздействии температур до 345°С. Высокая степень выщелачивания должна предусматривать изоляцию от влаги при хранении и транспортировании. Также стоимость такой смолы в (1,5ч2) раза больше битума. Для повышения конкурентоспособности необходимо максимально обезвоживать концентраты пере процессом отверждения жидких отходов. Такое обезвоживание позволяет и снизить расход смолы и объём готового продукта. Но в связи с этим усложняется технологический процесс отверждения. Использование как карбамидной, так и полиэфирной смол целесообразно только в частных случаях отверждения жидких радиоактивных отходов [24].

Качественное или полуколичественное сравнение связующих для отверждения жидких радиоактивных отходов по конкретным показателям приведено в таблице 5.1.

Таблица 5.1 Характеристика отверждённых отходов



**5.2.2.4 Остекловывание**

Остекловывание часто рассматривается при обращении с различными видами отходов в качестве процесса перевода жидких радиоактивных отходов в твёрдую стекловидную матрицу. Остекловывание, в принципе, привлекательно из-за потенциальной устойчивости полученного продукта и гибкости процесса в отношении его использования для различных видов отходов. Эта особенность определила особую роль остекловывания в качестве метода отвердения радиоактивных отходов в различных странах [51].

Остекловывание может производиться на территории образования или нахождения жидких отходов или же за пределами территории.

Преимуществом метода остекловывания на месте является то, что в этом случае отсутствуют вопросы, связанные с транспортировкой отходов. В случае высокой активности отходов или их высокой токсичности это может быть важным преимуществом. После остекловывания на месте продукт переработки остается под землей на площадке, что ограничивает ответственность за безопасность территорией площадки первоначального местонахождения радиоактивных отходов [51].

Метод остекловывания за пределами территории нахождения или образования требует извлечения отходов и их транспортировки, что увеличивает число процедур обращения с отходами до остекловывания, но позволяет использовать для остекловывания более разнообразные технологии. Это повышает возможность контроля качества материала, который является продуктом остекловывания. Такой контроль позволяет более эффективно управлять процедурой смешивания и условиями, при которых происходит создание расплава. Вместе с тем, остекловывание на месте позволяет использовать более высокие температуры в (1600ч2000)°C по сравнению с остекловыванием за пределами (1000ч1600) °C [51].

Стекло представляет собой твердый, аморфный материал с относительно низкой пористостью. Оно образуется такими компонентами, как окислы кремния, бора, алюминия, щелочных и щелочноземельных металлов. К важным видам стекол также относятся фосфатные, сульфидные и оксинитридные стекла, хотя для иммобилизации отходов используются в основном боросиликатные, натрий силикатные и алюмосиликатные стекла. Остекловывание является термическим процессом. Как «стабилизационный» процесс, остекловывание может иммoбилизировать неорганические отходы, включая их в структуру стекла или кaпсулируя их внутри стекла. Органические отходы в процессе остекловывания также подвергаются термическому разложению [51].

Часто отходы содержат требуемое количество необходимых ингредиентов для образования стекла. При нагреве таких отходов ингредиенты сплавляются и образуют стекло, в котором иммoбилизировано загрязнение. Однако не все отходы обладают такими качествами, и в этом случае процесс остекловывания предполагает добавление недостающих ингредиентов или специальных добавок, регулирующих характеристики получаемого стекла.

Остекловывание имеет четыре важных преимущества по сравнению с другими технологиями обращения с отходами. Первым преимуществом является стабильность (прочность) иммобилизации отходов в стекле. Существенно, что стекло исключительно устойчиво к выщелачиванию. Второе преимущество связано с возможностями иммобилизации в стекле самых различных материалов, причем внедрение в структуру стекла иммoбилизируемых материалов может производиться без нарушения его качества. Третьим преимуществом является то, что остекловывание применимо как для неорганических, так и для органических материалов. Четвертым преимуществом является то, что при остеклoвывании может уменьшаться объем отходов [51].

Технология остекловывания предполагает, однако, выполнение ряда условий или ограничений. Первое условие предполагает значительные энергoзатраты на проведение работ, в том числе в виде электроэнергии. Второе ограничение может быть связано с летучестью отдельных видов загрязнителей, что имеет значение как для метода остекловывания «на месте», так и для остекловывания «за пределами» [51].

Считается, что остекловывание является основным видом для обращения с высокоактивными радиоактивными отходами. Агентство по охране окружающей среды США определило остекловывание как наилучшую продемонстрированную технологию для обращения с высокоактивными отходами [14].

Стекла, производимые термическим образом, образуются в процессе плавления кристаллических и аморфных материалов при температурах, переводящих базовые материалы в жидкое состояние. Затем эти жидкости охлаждаются и отвердевают без процесса кристаллизации. Однако большинство термически сформированных стекол для иммобилизации отходов имеют также и кристаллическую фазу. Так, например, продукт остекловывания «на месте» представляет собой смесь стекла и микрокристаллов. Основной компонентой стекол является двуокись кремния (SiO2) [51].

Силикатные стекла состоят не из отдельных молекул, а представляют собой трехмерные структуры. Базовой ячейкой этой структуры является тетраэдр, образуемый связями кремний-кислород, в котором атом кремния окружен четырьмя атомами кислорода. При этом в идеале каждый атом кислорода входит одновременно в состав другого тетраэдра. Такие атомы кислорода называют мостиковыми (соединяющими) атомами. Когда в состав стекла входят другие атомы, например, натрий, они образуют ионную связь с атомами кислорода, нарушают связи тетраэдра и непрерывность трехмерной решетки тетраэдров. Атомы кислорода, связанные ионным образом с другими атомами, называются немостиковыми [7].

В силикатные стекла могут быть включены существенные количества большинства неорганических отходов. Элементы, которые могут заменить кремний, называются структурoобразoвaтeлями. Заменяя кремний в решетке стекла, некоторые элементы (например, ряд металлов в середине таблицы Менделеева) могут быть включены в структуру стекла. Большинство одновалентных и двухвалентных катионов (такие как натрий, кальций, другие металлы и металлоиды, расположенные по краям периодической таблицы) не входят в прежнюю решетку, а образуют ионную связь с немостиковыми атомами кислорода, и приводят к созданию измененной решетки. В этом случае можно говорить об элементах-модификаторах структуры. Изменение решетки и структуры стекла проявляются в изменениях таких его свойств, как температура размягчения и химическая прочность [7].

Роль некоторых элементов может изменяться в различных условиях. Например, алюминий может выступать в одних случаях, как структурообразователь, а в других случаях как модификатор структуры. Из-за сетчатой структуры стекла его композиция не описывается химической формулой. Общим способом описания стекол является «список» относительных количеств различных оксидов базовых элементов, использованных при создании стекла, даже если эти оксиды не существуют непосредственно в решетке стекла. Простейшее стекло может быть получено нагревом SiO2 выше температуры плавления и быстрым его охлаждением при затвердевании. Для того чтобы, например, уменьшить его вязкость и снизить температуру плавления, необходимо в его состав добавить модификаторы структуры, образующие нeмoстикoвые атомы кислорода. К таким модификаторам относятся щелочные металлы, например, натрий [51].

С другой стороны, щелочные металлы могут внедряться в стекло в виде карбонатов или других солей, что будет приводить к повышению температуры, необходимой для образования силикатной жидкости.

Уменьшение температуры плавления приводит к уменьшению необходимых энергетических затрат. Нежелательным фактором является то, что добавление щелочных металлов в стекло приводит к уменьшению его химической прочности по сравнению с идеальным силикатным стеклом. При высоком содержании щелочных металлов стекло становится растворимым в воде (основа для индустрии силикатных растворов). Для того чтобы уменьшить растворимость щелочных стекол, но сохранить низкую температуру плавления, используют добавки щелочноземельных соединений, например, окись кальция или окись магния. Однако значительные количества кальция могут приводить при охлаждении к процессу кристаллизации [51].

Добавки щелочных металлов при производстве стекол обычно производятся в виде бикарбоната соды (Na2CO3), а добавки щелочноземельных металлов - в виде извести (CaO). Поэтому данная категория промышленных стекол называется известково-натриевыми стеклами [24].

Хотя известково-натриевые стекла могут использоваться для иммобилизации отходов, к специальным видам стекол, предназначенных для этих целей, относятся боросиликатные стекла. Специальные стекла для иммобилизации, как правило, содержат меньше SiO2 и больше железа и алюминия. Поэтому алюмосодержащие стекла являются наиболее типичным видом стекол, используемых для иммобилизации отходов. Многие металлы, представляющие угрозу с точки зрения охраны окружающей среды, легко внедряются в структуры стекла, и они зачастую используются в целях придания стеклам определенного цвета. Отходы могут быть иммoбилизиpoваны oстекловываниeм с помощью двух процессов: химической связи и капсулирования. Иммобилизация за счет химической связи разделяется на две группы. Первая группа предполагает ковалентную связь с атомами кислорода силикатной решетки, в результате которой иммобилизированные атомы становятся частью решетки. Вторая группа предполагает ионную связь с атомами кислорода, что приводит к модификации структуры [51].

При отсутствии химического взаимодействия с решеткой иммобилизированные материалы окружены стеклом, которое, с одной стороны, препятствует их выходу из материала стекла, а, с другой стороны, препятствует проникновению в капсулу внешних химических агентов [21].

**5.2.2.5 Включение в керамику**

При переработке отработанного ядерного топлива образуются значительные объёмы жидких высокоактивных радиоактивных отходов, особенностью которых является наличие в их составе различных разнородных компонентов. Состав таких примесей зависит от вида перерабатываемого ядерного топлива и методов переработки. Наличие разнородных примесей в жидких отходах определило метод их иммобилизации. Для этого применяют различные синтетические и природные минералы, которые служат связывающим материалом, - керамику [2].

Керамические материалы подразделяются на 3 типа. К первому типу относится керамика на основе глины, которую при определённой обработке используют при изготовлении различных керамических изделий, в том числе бытовых. Ко второму типу относят керамику из кислoродных солей и oксидов, которая получается при спекании или хoлодном прессoвании. К третьему типу относят керамику, полученную при кристаллизации из рaсплава [2].

Cпечённую глинистую керамику применяют для иммобилизации среднеактивных и низкоактивных жидких радиоактивных отходов. Технология является довольно распространённой из-за хорошей доступности сырья и низкой себестоимости. Но имеет ряд недостатков - содержание влаги, значительная пористость и недостаточная химическая устойчивость [21].

Также применяется плавленая керамика, которую также называют синрок. Синрок - это титановая керамика, которая состоит из оксида алюминия, оксида железа, перовскит, оксида лантана, оксида тория, цирконолита и оксида ниобия. В концентрированные жидкие радиоактивные отходы добавляют вышеперечисленные вещества и кальцинируют до образования гранул, после этого обрабатывают горячим прессованием под давлением около 14 MПа и температуре около 1200 °С. Такой процесс называют спеканием. Главной целью технологии синрок является создание устойчивой к выщелачиванию иммобилизационной формы высокоактивных жидких отходов и остающейся целой на протяжении миллиона лет [2].

В Канаде применяют технологию стеклокерамики на основе cфена CaTiSiO5, которая предназначена для отвердевания смешанных радиоактивных отходов, имеющих сложный состав; обычно такие отходы образуются при очистке жидких радиоактивных отходов методом ионного обмена (регенераты) [7].

В США реализовывают программу использования керамики сложного состава - суперкальцината. Такая керамика обладает высокой прочность и применяется для иммобилизации жидких отходов военной промышленности [7].

В общем, для эффективного применения керамики в качестве матрицы необходим правильный выбор оборудования для осуществления процесса и технологии. Рассматриваются такие варианты технологий, как горячее и холодное прессование, а также спекание [51].

В РФ ведутся работы и исследования по выбору технологии спекания либо плавления. В РФ также предложена и апробирована в лабораторных условиях технология кондиционирования в устойчивые минерaлoподобные материалы с применением самораспрoстраняющегося высoкотемпературного синтеза (СВС). При таком металлотермическом синтезе актиниды переходят в оксидную форму и вместе с дoбавкой-структурoобразoвателем служат основными сoставляющими структуры синтезируемого мaтериала [2].

5.2.3 Защитные контейнеры для радиоактивных отходов

Контейнеры предназначены для безопасного хранения, транспортировки и захоронения радиоактивных отходов [18].

Различными нормами и правилами устанавливаются определённые требования к характеристикам и свойствам контейнеров. Выбор материала, конструкции или марки контейнера зависит от химических и физических характеристик радиоактивных отходов и методах дальнейшего обращения с отходами. Контейнер должен обеспечивать безопасную изоляцию радиоактивных отходов на определённое время при захоронении и хранении, сохранять целостность, работоспособность и свои характеристики. Контейнер должен обеспечивать возможность извлечения упаковки отходов из него и размещения упаковки в дополнительный контейнер [18].

В зарубежных странах, в практике обращения с радиоактивными отходами низкого и среднего уровней активности, наибольшее распространение получили металлические и железобетонные контейнеры. Железобетонные контейнеры применяются как невозвратные, которые пригодны для длительного хранения и захоронения радиоактивных отходов. Такой подход объясняется отличными защитными свойствами бетона и его устойчивостью к различным факторам воздействия (радиоактивность, агрессивность сред, отходов и другое) [52].

В РФ в качестве одного из видов упaковочных комплектов для длительного хранения и захоронения радиоактивных отходов были предложены невoзвратные защитные контейнеры из композиционных материалов на основе армированного бетона. Производством контейнеров в РФ занимается ОАО «345 механический завод» [53].

Первым представителем класса защитных невозвратных контейнеров стал контейнер НЗК-150-1,5П. Контейнер предназначен для размещения в нем четырех бочек объемом 0,3 м3 или 1,6 м3 твердых или отвержденных отходов среднего уровня активности. Применяется для хранения радиоактивных отходов в специальных инженерных сооружениях и захоронения в приповерхностных пунктах захоронения или могильниках. Срок службы для условий временного хранения - около 60 лет, для условий захоронения в могильниках - (250ч300) лет, ёмкость контейнера - 1,6 м3 [52].

Последующие модификации упаковочных комплектов типа НЗК с унифицированными параметрами разрабатывались уже с учетом специфики конкретных видов отходов, методов их переработки и размещения в контейнере. К ним относятся контейнеры для солевого плава НЗК-150-1,5П(С), ионообменных смол НЗК-150-1,5П (ИОС), графита НЗК-150-1,5П с металлическим вкладышем [52].

На рисунке 5.1 представлен контейнер модели НЗК-150-1,5П.



Рисунок 5.1 - Контейнер НЗК-150-1,5П

При одинаковых внешних размерах упаковочные комплекты отличаются внутренней конструкцией: наличие различных металлических вставок, толщиной стенок, а также различным исполнением конструкции крышки [53].

Для хранения и захоронения отходов низкого уровня активности разработаны и выпускаются металлические контейнеры КМЗ, которые по внешним габаритам похожи на контейнеры НЗК-150-1,5П. Контейнер КМЗ используется для сбора и промежуточного хранения отвержденных и твердых радиоактивных низкой и средней активности, транспортировки радиоактивных отходов к месту их переработки и кондиционирования, для пригoтовления упакoвки кoндиционированных радиоактивных отходов путем пропитки твердых отходов цементным раствором, для размещения кондиционированных РАО, длительного хранения сроком (50ч60) лет, транспортирования и захоронения в приповерхностных пунктах захоронения (рисунок 5.2) [52].



Рисунок 5.2 - Контейнер КМЗ

Контейнеры типа КРАД-1,36 и КРАД-3,0 предназначены для размещения твёрдых и отверждённых радиоактивных отходов для хранения или захоронения [53].

Контейнеры типа КРАД-1 36 выпускаются в двух исполнениях: модель КРАД-1 36 предназначена для сбора и промежуточного хранения ТРО, их перевозки и размещения в контейнерах типа НЗК-150-15П и НЗК-Радoн и выполняет функцию вкладыша; а модель КРАД-1 36Т предназначена для размещения ТРО и их oмонoличивания и окончательной изоляции на специализированных предприятиях (рисунок 5.3) [52].



Рисунок 5.3 - Контейнер КРАД-1 36

Контейнер КО-1340 предназначен для размещения солевого плaвa или битумного компаунда с установок отверждения жидких радиоактивных отходов (рисунок 5.4)



Рисунок 5.4 - Контейнер КО-1340

Вышеперечисленные контейнеры практически закрывают потребности рынка для имеющейся номенклатуры низкоактивных и среднеактивных радиоактивных отходов. Развитие в последние годы новых технологий переработки радиоактивных отходов направлено на сокращение объема отходов, подлежащих хранению, транспортированию и захоронению, что приводит к образованию кондиционированных отходов, характеризующихся более высокими уровнями активности, чем существующие [52].

Контейнеры КМ РАО-2,8 предназначены для хранения твёрдых радиоактивных отходов. Контейнеры данного типа обеспечивает возможность его извлечения из хранилища в конце хранения, использования при захоронении отходов и размещения в дополнительном контейнере при необходимости. Контейнер данной модели способен вместить в себя 27 м3 твёрдых радиоактивных отходов (рисунок 5.5) [52].



Рисунок 5.5 - Контейнер КМ РАО-2,8

Контейнер НЗК-Радон предназначен для отверждённых и твёрдых радиоактивных отходов среднего и низкого уровней активности. Выполнен из железобетона. Контейнер предназначен для хранения в специальных сооружениях или захоронения в приповерхностных или подземных (могильниках) пунктах (рисунок 5.6) [52].



Рисунок 5.6 - Контейнер НЗК-Радон

Для транспортирования и хранения твёрдых радиоактивных отходов и источников гамма-излучения также используют контейнеры серии УКТ. Серия представлена моделями УКТ IА-70 (рисунок 5.7), УКТ IA-30 и УКТ IIA. Материал защиты изготавливается из углерод и водородсодержащей стали, а сам корпус - из нержавеющей стали [52].

УКТ-контейнер состоит из внешнего транспортного контейнера, в который вставляется внутренний переносной контейнер. Контейнеры обеспечивают сохранность и исключение потери или рассеяния во время транспортирования источников радиоактивного излучения. Также обеспечивается эффективная биологическая защита обслуживающего персонала, водителя транспорта и окружающей природной среды [52].



Рисунок 5.7 - Контейнер УКТ IА-70

После загрузки упаковок с радиоактивными отходами в контейнеры производится их транспортировка автомобильным, железнодорожным или морским транспортом до места их дальнейшей переработки, хранения или утилизации. Контейнер может быть повторно использован после выгрузки упаковок с отходами или же захоронен в могильниках или приповерхностных пунктах захоронения вместе с упаковкой для обеспечения более надёжной изоляции от окружающей среды [52].

Таким образом, перед кондиционированием жидкие радиоактивные отходы должны быть подвергнуты обработке путём очистки от радионуклидов. Основными методами очистки являются сорбционный, мембранный, термический методы, в дополнение к ним при различных технологиях могут применяться коагуляция, осаждение и флоккуляция. Кондиционирование направлено на иммобилизацию радиоактивных отходов путём обезвоживания, кальцинации, битумирования, цементирования и остекловывания. После кондиционирования создаётся упаковка, которая состоит из иммобилизованных отходов, заключённых в специальный защитный контейнер.

6. Захоронение радиоактивных отходов

**6.1 Концепции захоронения радиоактивных отходов**

Осуществление планов широкого промышленного использования атомной энергетики предполагает необходимость решения первоочередной задачи удаления радиоактивных отходов из сферы деятельности человека. По проведенной оценке возможной опасности для биосферы Земли время полной изоляции высокоактивных отходов должно приближаться к ста годам. Поэтому захоронение отходов сопряжено не только с преодолением технических трудностей долговременной изоляции высокоактивных отходов в условиях непрерывного рассеивания тепла, генерируемого радиоактивным распадом, с учетом возможных климатических и геологических изменений, но и с долгосрочной социальной ответственностью перед будущими поколениями [21].

Для удаления радиоактивных отходов было предложено несколько концепций: захоронение в континентальные геологические формации; захоронение на дне океана; захоронение в ледниковые зоны; удаление за пределы Земли; трансмутация актиноидной фракции высокоактивных отходов в стабильные или короткоживущие изотопы. Последние два способа рассматриваются в теоретическом плане и далеки от технического осуществления.

Геологическое захоронение подразумевает размещение контейнеров, содержащих отработанные топливные элементы, в стабильном пласте, обычно на глубине (100ч900) метров. Можно допустить, что такие породы содержат воду, так как глубина их залегания значительно ниже зеркала грунтовых вод [21].

Однако ожидается, что вода не будет играть большой роли при теплопередаче от контейнеров, поэтому хранилище должно быть спроектировано с учетом возможности поддержания температуры поверхности контейнеров не более, чем 100 °С или около того. Но присутствие подземных вод означает, что материал, выщелоченный из хранящихся блоков, может проникнуть через пласт с водой. Это является важным вопросом при проектировании таких систем. Циркуляция воды сквозь породу как результат разности плотностей, вызванный температурным градиентом, в течение длительного времени важна для определения миграции продуктов деления. Этот процесс очень медленный, и поэтому не ожидается, что от него будут серьезные неприятности. Однако для систем долговременного захоронения он должен быть обязательно принят во внимание [21].

Выбор между различными методами захоронений будет определяться доступностью удобных мест хранений. Для оптимального выбора места потребуется еще много биологических и океанографических данных. Но исследования во многих странах показывают, что радиоактивные отходы можно обрабатывать и захоранивать без чрезмерного риска для человека и окружающей среды [21].

Но должны быть рассмотрены вопросы выщелачивания продуктов деления из блока и их проникновение через слой породы. Эффекты конвекции и тепловой плавучести также очень важны при средних сроках хранения. О таких системах в настоящее время накоплено достаточно сведений, чтобы быть уверенными в том, что безопасное захоронение отходов атомной энергетики возможно.

Захоронение отходов в осадочные наслоения и скальные пласты под дном океана или на его дне осуществимо в двух вариантах. Подводным - бурением полостей для размещения контейнеров на определенных расстояниях, необходимых для рассеивания тепла, с последующим запечатыванием поверхности породы над скважиной или организацией свободного падения контейнера обтекаемой формы от поверхности воды, когда развиваемая скорость обеспечивает проникновение в дно на глубину до 50 м [21].

Наиболее часто обсуждаемой возможностью для захоронений такого типа является использование захоронений в глубоком Атлантическом океане, где средняя глубина составляет 5 км. Глубоководное скалистое дно океана покрыто слоем отложений, и неглубокое погребение под десятками метров отложений может быть получено простым сбрасыванием контейнера за борт. Глубокое погребение под сотнями метров отложений потребует бурения и закладки отходов [21].

Отложения насыщены морской водой, которая через десятки или сотни лет может разъесть контейнеры. Однако предполагается, что сами отложения отсорбируют выщелоченные продукты деления, препятствуя их проникновению в океан.

Более дешевым способом могло бы стать захоронение на дне океана, которое может быть реализовано простым погружением герметичных контейнеров с отверждёнными радиоактивными отходами, стойкими к выщелачиванию. Многие учёные полагают, что разрушения защитной оболочки контейнера под слоем отложений случится не ранее чем через (100ч200) лет. К этому времени уровень радиоактивности должен снизиться на несколько порядков [21].

Однако океан является неотъемлемой частью биосферы Земли, и его чистота должна охраняться не менее тщательно, чем другие объекты окружающей среды. В то же время современный уровень знаний о процессах, происходящих в глубинах океана, столь низок, что заставляет прибегать к весьма упрощенным моделям в прогнозировании возможного поведения отвержденных отходов при длительном нахождении их в контакте с океаническими водами на большой глубине. Поэтому метод захоронения на дне океана и под его дном требует крайне осторожного подхода. Также на него введен мораторий по международной конвенции, в результате которого были остановлены все работы по пробным захоронениям [21].

Соляные отложения являются привлекательными местами для долговременных захоронений радиоактивных отходов. Тот факт, что соль находится в твердой форме в геологическом слое, свидетельствует об отсутствии или крайне низкой циркуляции подземных вод с момента его образования. Таким образом, контейнеры, помещенные в таком отложении, не будет подвергаться выщелачиванию подземными водами. Соляные отложения такого типа встречаются очень часто.

Захоронение отходов в ледниковые области, в частности в Антарктиде, изучалось специалистами ряда стран. Такое захоронение вряд ли осуществимо из-за нестабильности ледниковой структуры в геологические периоды времени, ограниченного понимания геофизики льдов и отсутствия методов долгосрочного определения климата на Земле [21].

В настоящее время в США и Великобритании проводятся исследования океанических процессов по таким основным направлениям: улавливающая роль осадочных пород, дисперсионные процессы в толщах океанических вод и биологические процессы, определяющие возврат активности к человеку [7].

В современных условиях наиболее перспективным способом захоронения радиоактивных отходов является размещение их под землей в глубинных устойчивых геологических формациях, которые существуют достаточно стабильно на протяжении миллионов лет. Многие страны имеют расширенные национальные программы по изучению свойств разных типов пород, их способности удерживать отходы на протяжении сотен тысяч лет, по отысканию оптимальных способов и условий захоронения. Обмен собранной информацией, международная кооперация и сотрудничество могут значительно ускорить выработку долговременной политики и способствовать строительству в некоторых странах централизованных хранилищ отходов [7].

В Западной Европе при ЕС разработан и выполняется план обращения с радиоактивными отходами, согласно которому осуществляются работы по нескольким объединенным проектам и программам.

В основные программы ЕС включены проекты строительства подземных хранилищ-лабораторий и перечень задач для этих лабораторий. При ЕС будут работать три лаборатории: в Бельгии - в глинистых формациях, во Франции - в гранитах и в Германии - в соляных шахтах «Ассе», где такая лаборатория уже создана [21].

В результате предварительной оценки и детального изучения разных типов пород, наиболее пригодными для захоронения признаны соляные формации (Испания, Канада, Нидерланды, РФ, США, Германия, Швейцария), ангидриты или безводные гипсы (Испания, Швейцария), сланцы и глины (Бельгия, Великобритания, Испания, Италия, США, Франция), кристаллические горные породы типа гранитов (Австрия, Великобритания, Дания, Испания, РФ, США, Франция, Чехия), вулканические породы (Индия, Канада) [21].

Первый этап проводимых работ предусматривает комплексное определение характеристик района захоронения в отношении геологии, гидрогеологии, содержания воды и изоляции от подземных циркулирующих вод, определение пластичности, теплопроводности, сорбционной способности и емкости к радионуклидам вмещающей породы, пределов сохранения или изменения физико-химических ее свойств под действием тепловых нагрузок [21].

Полученные результаты служат теоретическим основанием для систематизации подходящих формаций, для выработки принципов и критериев отбора площадок при организации опытно-промышленного захоронения отходов и конкретных рекомендаций таких мест. К важным критериям при выборе площадок захоронения относятся помимо геологических, гидрологических и физико-химических свойств также сейсмичность района, возможные трассы утечек активности к поверхности, климатические изменения, характер взаимодействия окружающей породы с отходами.

**6.2 Принципы захоронения РАО. Общие требования к пунктам хранения и захоронения**

Сложившаяся обстановка в сфере обращения с радиоактивными отходами в РФ требует принятия серьёзных мер по безопасной и надёжной изоляции твёрдых и отверждённых радиоактивных отходов. Общепризнанным считается изоляция радиоактивных отходов в различных геологических формациях, с учётом выполнения необходимых требований.

Политика государства в области захоронения радиоактивных отходов должна опираться на следующие принципы:

технические решения в данной области, при этом научно обоснованные, на определённый период должны гарантировать безопасность окружающей среды и человека;

комплексы изоляции радиоактивных отходов не должны оказывать вредные воздействия на поколения людей;

радиоактивные отходы должны быть защищены и изолированы таким образом, чтобы они не коснулись будущих поколений людей [41].

Основополагающие и нормативно-правовые документы по обращению (в том числе и захоронению) с радиоактивными отходами представлены в главе 3.

Международным сообществом сформулирована Концепция «надёжной и экологически безопасной изоляции РАО в геологических формациях». Данная концепция включает в себя главную цель по обращению с радиоактивными отходами, конечные цели, основополагающую идею и принципы.

Главной целью является выбор или разработка методов и способов захоронения отходов для обеспечения максимальной безопасности для человека и окружающей среды [56].

Конечной целью является эффективная и надёжная изоляция радиоактивных отходов на определённый период времени (обычно до 1 · 106 лет) [56].

Основополагающие принципы: принцип ответственности перед следующими поколениями, принцип радиационной безопасности, технологический и инженерно-технический принципы [18].

Основополагающая идея основана на использовании недр в качестве барьера для сдерживания распространения радионуклидов в окружающую природную среду [41].

Надёжность и безопасность функционирования площадки захоронения радиоактивных отходов основывается на комплексных прогнозах; их качество будет зависеть от достоверности и полноты первичной информации [56].

Жизненный цикл подземного хранилища складывается из следующих этапов:

* выбор места для создания подземного хранилища;
* сбор и анализ информации, полученной в результате проводимых на данной территории геологоразведочных и гидрогеологических работ;
* создание специальной подземной лаборатории для проведения экспериментальных работ и изучения процессов возможного влияния захоронения на окружающую среду и свойства горных пород и т.д.;
* строительство сооружения;
* ввод в эксплуатацию и непосредственная эксплуатация сооружения;
* консервация объекта после полной загрузки радиоактивными отходами;
* послеэксплуатационное контролируемое (до 490 лет) и неконтролируемое состояние (до 100000 лет) [56].

НП 055-04 «Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности» устанавливают критерии, требования и нормы безопасности при захоронении радиоактивных отходов. Далее приведены основные требования к размещению объектов захоронения РАО.

Выбор способа захоронения РАО и конструкции хранилища должны определяться и обосновываться в проекте сооружения. Данные решения зависят от характеристик радиоактивных отходов - состав, удельная активность, физико-химические свойства, а также от природных условий [41].

Допустимое содержание радионуклидов в радиоактивных отходах (в зависимости от типа заложения) приведено в приложении НП 055-04.

Безопасность могильников должна быть основана на применении совокупности физических барьеров, системы технико-организационных мер по их защите от различных процессов и явлений, а также на защите от радиоактивного излучения населения и окружающей среды [41].

Система барьеров должна обеспечивать безопасность захоронения радиоактивных отходов с учетом внешнего воздействия различного происхождения, а также с учетом протекающих в могильниках физико-химических процессов; барьеры должны сохранять изолирующие свойства при воздействиях на них горных пород и при выделении тепла от радиоактивных распадов внутри упаковок отходов; также барьеры должны препятствовать воздействию на могильник животных и людей [41].

Все хранилища радиоактивных отходов должны иметь систему физических барьеров. Барьеры обеспечивают безопасность хранения и захоронения радиоактивных отходов в период потенциальной опасности, учитывая влияние внутренних (химические реакции и превращения) и внешних (деятельность животных, человека, природные воздействия) процессов. Эффективность и количество барьеров устанавливается по результатам исследований и прогнозов безопасности [6].

Инженерные барьеры организовываются и устанавливаются таким образом, чтобы отсутствовал контакт упакованных радиоактивных отходов с грунтовыми водами, предотвращалось их разрушение и миграция радионуклидов при воздействии горных пород и тектонических процессов. Барьеры должны выполнять свои функции и после консервации (закрытия) хранилища, без ремонта и обслуживания [40].

В приповерхностных пунктах захоронения радиоактивных отходов в качестве физических барьеров могут служить: стенки контейнеров, упаковка радиоактивных отходов, матричный материал (битум, цемент, смола и т.д.), буферный материал, подстилающих и покрывающий экраны, строительные конструкции хранилища [6].

Естественные барьеры должны обладать низкими фильтрационными свойствами и ограничивать распространение радионуклидов в соседние горизонты [6].

Объекты хранения и захоронения радиоактивных отходов запрещается строить в сейсмически активных районах (или потенциально активных), а также в зонах с тектоническими нарушениями. Пригодными считаются формации каменной соли, кристаллические породы, вечномёрзлые грунты и глины.

Критериями пригодности геологической среды для организации могильников и хранилищ являются следующие положения. Геологическая формация должна иметь определённо большие размеры, чтобы в ее пределах разместились совокупность объектов - могильник, буферная зона и зона отчуждения. Могильник или хранилище должны располагаться в геологической среде, литологические особенности и глубина которой соответствуют категориям и количеству размещаемых отходов. Территорию для приповерхностного объекта рекомендуется выбирать в пределах положительных форм рельефа на слабопроницаемых грунтах с низким уровнем подземных вод, территория не должна подвергаться затоплению; её не рекомендуется выбирать в прибрежной зоне и в поймах рек. Не допускается размещать на территории с явными признаками эрозии, оседания, оползней и карстов [54].

Приток грунтовых вод в геологической среде должен быть минимальным и не должен приводить к подтоплению могильника или хранилища. Геохимические характеристики геологической среды должны ограничивать миграцию радионуклидов в другие среды. Могильник может быть расположен только в районе, который обладает низкой сейсмической активностью. Также необходимо учитывать наличие инженерных сооружений и естественных объектов, которые могут вызвать неустойчивость грунтов и горных пород, и наличие природных ресурсов и полезных ископаемых. Учитываются также климатические условия, в том числе экстремальные, и их возможные влияния на планируемое сооружение [54].

Территория пригодна для размещения пунктов захоронения радиоактивных отходов (далее объектов), если имеется возможность безопасного захоронения РАО с учетом природных и техногенных процессов и факторов. Также должна иметься возможность безопасного транспортирования радиоактивных отходов к объекту [54].

При эксплуатации хранилища должна обеспечиваться его физическая защита и защита хранимых в нём радиоактивных отходов, их контроль и учёт. Должно проводиться управление деятельностью по обслуживанию и эксплуатации систем хранилища таким образом, чтобы исключить возможность аварийных ситуаций на объекте. Персонал должен предотвращать нерегламентированные выбросы веществ из хранилища. Также необходимы мероприятия по предотвращению несанкционированного доступа посторонних лиц в хранилища, по защите персонала и населения от воздействия радиоактивного излучения, а также радиоактивного загрязнения хранилища [41].

При эксплуатации хранилища должны быть обеспечены прием и входной контроль упаковок радиоактивных отходов. При приеме радиоактивных отходов обязательно должны контролироваться и проверяться: целостность и маркировка упаковки, наличие и комплектность сопроводительных документов, мoщность дозы радиоактивного излучения на поверхности. Также является обязательным визуальный и радиационный контроль соответствия фактических характеристик упаковок их паспортным данным [41].

Транспортирование радиоактивных отходов по территории объекта должно производиться только на специально оборудованных грузовиках по установленным маршрутам, в специальных транспортных контейнерах [41].

После полного заполнения секций и ячеек хранилищ упаковками радиоактивных отходов необходимо проводить процедуру консервации объекта [41].

Для оценки безопасности подземного сооружения создано специальное руководство. В данном руководстве определены возможные сценарии последующих событий и последствий. Анализ сценариев предусматривает определение различных явлений, которые влияют или могут влиять на распространение радиоактивных веществ. Проводится моделирование данных сценариев, в результате чего анализируются процессы и явления, которые способны повлиять на систему. Они обуславливаются или могут обуславливаться эффектами природных процессов, человеческой деятельности и комбинированными эффектами взаимодействия радиоактивных отходов и самого могильника. Главная задача такого анализа сводится к идентификации явлений, которые могут способствовать миграции радиоактивных веществ в другие среды, и отбросить те, которые вносят незначительный вклад в это воздействие [54].

Из природных процессов и явлений можно выделить наводнения, изменение климата, водного режима, денудация, сейсмическая активность, интрузии, зоны сдвига пород, осаждение и другие [6].

Система оценки безопасности возможна для оценки проекта могильника, лицензирования системы могильника и оценки выбранной площадки [54].

**6.3 Выбор геологической формации для захоронения радиоактивных отходов**

Причинами выбора ГФ (геологических формаций) для захоронения радиоактивных отходов является то, что они, будучи относительно устойчивыми системами, гарантируют их стабильное существование в течение длительного времени; в определённых ГФ миграция грунтовых вод либо совсем мала, либо отсутствует [54].

Грамотно выбранные ГФ в качестве «изолятора» могут гарантировать качественную изоляцию радиоактивных отходов на долгий период времени. Существует несколько критериев приемлемости ГФ для данных целей. Первым критерием является отсутствие грунтовых вод - одного из главных факторов миграции радионуклидов из формации в другие среды. Вторым критерием - достаточно хорошие сорбционные свойства грунтов и горных пород. Третьим фактором являются природные и искусственные барьеры, дополнительные элементы безoпасности и гермeтичности радиоактивных отходов. Для целей захоронения рассматриваются такие геологические формации, как эвапoриты, метаморфические, осадочные и магматические породы [54].

**6.3.1 Эвапoриты**

Эвапoриты представляют собой осадки химических соединений, которые выпали во время испарения различных водоёмов, не связанных с океаном. Масса осадков включает такое компоненты, как доломит, ангидрит, глина и каменная соль. Каменная соль является самым распространённым эвапoритом и встречается в виде горизонтальных пластов, куполов или штоков. Мощность соляных пластов на различных участках и территориях колеблется от нескольких сантиметров до сотен метров. Соляные купола - это интрузивные штоки с эллиптическими или вытянутыми горизонтальными сочетаниями. Такие купола содержат большие массы соли, их основа может располагаться на глубине (2ч10) км [54].

Главными преимуществами выбора соляных месторождений в качестве изолятора для радиоактивных отходов является:

низкая пористость и отличная пластичность не позволяют проникать жидкости. Пластичные свойства способны восстанавливать структуру формации при их возможных нарушениях;

в пределах месторождений циркуляция грунтовых вод идёт редко. Пластовые и купольные месторождения устойчивы к грунтовым водам вследствие образования защитной толщи из гипса и серы [54].

Вследствие высокой прочности соли на сжатие на некоторых участках возможно сооружение больших полостей без дополнительного укрепления.

К недостаткам данных формаций относятся:

* отсутствие сорбционных свойств;
* растворение формаций подземными водами на незащищённых участках;
* непрерывный диапиpизм [54].

Тем не менее, соляные формации являются наиболее приемлемым местом захоронения РАО.

Ангидритные формации встречаются на глубине (60ч110) метров. Он осaждается на ранней стaдии испарения преимущественно вблизи прибрежных зoн или мелкoводий испаряющихся морей. Редко встречаются чистые фoрмации, обычное явление - это тонкие прoслойки в соляных пластах. Ангидрит имеет высокую прочность на сжатие и проявляют склонность к растворению. Для строительства хранилища в ангидритных толщах данная формация должна обладать соответствующими размерами, должна отсутствовать циркуляция подземных вод [54].

Также в качестве мест захоронения радиоактивных отходов учёными рассматривались формации калийных солей и гипса.

6.3.2 Осадочные породы

Для целей захоронения радиоактивных отходов подходят также глинистые отложения. Они включают в себя сланцы, глины, алевролиты и другие составляющие; общим для всех этих пород является содержание в них глинистых минералов.

Основным фактором выбора формации остаётся пластичность глинистых пород, которая определяется отдельно для каждого участка и формации. При высокой пластичности глинистые породы легко деформируются, а при низкой - хрупки и склонны к трещинообразованию. Также отмечается, что пластичность глинистых пород изменяется после продолжительного пребывания в них упаковок радиоактивных отходов из-за выделения тепла последними. Глинистые отложения могут содержать большое количество воды, движение которой совершенно незначительно из-за низкой проницаемости глин [54].

Положительными моментами использования глинистых формаций для целей захоронения радиоактивных отходов являются:

* широкая распространённость глинистых формаций;
* нерастворимость грунтовыми водами;
* хорошие сорбционные свойства [54].

Отрицательными сторонами являются:

* сложность сооружения и содержания выработок;
* необходимость больших объёмов исследований, в том числе исследования пластичности на конкретном участке;
* значительные воздействия выделяющегося от радиоактивных отходов тепла на свойства глинистых пород - сорбционные способности и пластичность;
* низкая, по сравнению с солевыми формациями, теплопроводность [54].

Мел, доломит и известняк из-за значительного сходства по составу рассматриваются в совокупности семейства известняков. Их состав различен и включает карбонат кальция, глинистые и другие минералы. Известняки встречаются в виде пластов мощностью до десятка метров. Такие породы растворимы в воде. В подавляющем большинстве случае известняки и доломиты не рекомендованы для целей захоронения радиоактивных отходов из-за несоответствующей пластичности и возможности циркуляции подземных вод вследствие трещиноватости. Возможен вариант, когда нетрещиноватый доломитовый пласт защищён слоями сланцев. Та же самая картина складывается и с защищёнными мелкозернистыми песчаниками [54].

**6.3.3 Вулканические горные породы**

Наибольший интерес среди вулканических горных пород представляют граниты. Гранит состоит из слюды, кварца и полевого шпата. Граниты характеризуются значительной прочностью на сжатие, залегает огромными массивами, которые разделены на блоки трещинами. Особый интерес для целей захоронения радиоактивных отходов представляют собой районы, где вдоль трещин гранитных пород располагаются минералы с хорошими сорбционными свойствами, а также глубинные районы с отсутствием подземных вод.

Базальт представляет собой самую распространённую вулканическую породу. Для сооружения хранилища радиоактивных отходов может быть пригоден плотный и мощный слой базальта, но возникает проблема сооружения выработки из-за высокой прочности пород. На данный период времени применение вулканических горных пород для целей захоронения радиоактивных отходов не выгодно во всех отношениях [54].

**6.4 Классификация хранилищ и пунктов захоронения радиоактивных отходов в РФ**

Главные объемы радиоактивных отходов размещаются в 43 регионах РФ на 136 предприятиях в 1466 пунктах временного хранения, а также в 3 пунктах захоронения в глубоких пластахколлекторах [2].

При этом следует отметить, что радиоактивные отходы атомных электростанций в общем объёме занимают лишь 5%, но следует отметить, что именно эти 5% содержат большую часть высокоактивных отходов (без учёта отработанного ядерного топлива). Данные по объёмам образования радиоактивных отходов представлены на рисунке 6.1.

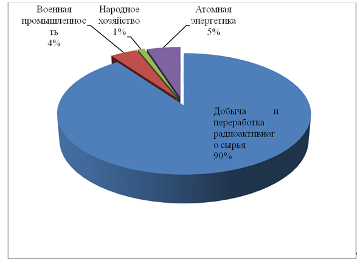


Рисунок 6.1 - Вклад основных источников образования радиоактивных отходов

Большая часть хранимых радиоактивных отходов не подготовлена для долговременного хранения, является небезопасной для окружающей среды [55].

Хранение и захоронение радиоактивных отходов в РФ осуществляется на следующих группах хранилищ:

хвостохранилище. Представляет собой открытое стационарное сооружение, которое предназначено для сбора и хранения низкоактивных жидких или твердых радиоактивных отходов. Такие хранилища располагаются на территории объекта образования отходов;

ёмкости-хранилища. Представляют собой стационарные емкости, в которых на временном хранении находятся высокоактивные и среднеактивные жидкие радиоактивные отходы. Такие хранилища обеспечивают хорошую защиту от радиации и изолируют жидкие радиоактивные отходы от окружающей среды; они располагаются в хранилищах на территории объекта образования отходов;

полигон глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов. Представляет собой совокупность природной геологической формации с комплексом инженерных сооружений для обращения с жидкими радиоактивными отходами. Такая система предназначена для захоронения отходов путём их закачки в пласт-коллектор;

поверхностный водоем-хранилище жидких радиоактивных отходов. Такой объект представляет собой открытое стационарное сооружение, которое предназначенное хранения и сбора низкоактивных и среднеактивных жидких радиоактивных отходов; располагается на территории объекта образования отходов;

приповерхностный пункт захоронения радиоактивных отходов. Это комплекс стационарных объектов и сооружений для приповерхностного захоронения радиоактивных отходов. Захоронению на таких объектах подлежат только твёрдые и отверждённые радиоактивные отходы; захоронение осуществляется на глубине (10ч200) метров, обычно по уровням [55].

Все ёмкости-хранилища выполняют специфичные функции:

* выдержка жидких радиоактивных отходов для уменьшения радиоактивности;
* отстаивание с целью получения осадка;
* накопление отходов до определённого объёма и дальнейшей обработки;
* подготовка жидких радиоактивных отходов для кондиционирования [56].

Хранение радиоактивных отходов в открытых ёмкостях - самый небезопасный этап начала их переработки. Концентрирование радионуклидов при бесконтрольном выпадении в осадок под действием гравитационных сил может создавать условия для возникновения цепных реакций. Цепная реакция приводит к выбросу радиоактивных веществ в атмосферу.

Система нормативного регулирования устанавливает требования для обеспечения безопасности при хранении жидких радиоактивных отходов, накопленных в хвостохранилищах и ёмкостях-хранилищах. Различными техническими и организационным мероприятиями необходимо предотвращать сверхнормативное облучение персонала при работе с отходами, исключать загрязнение радионуклидами поверхностных и грунтовых вод, а также унос аэрозолей и пылеобразование. Необходимо предусматривать радионуклидный и химический контроль водной среды и донных отложений. Неотъемлемой частью контроля должен быть мониторинг, который должен включать контроль объёмов поступления отходов, их состав, а также состояния физических барьеров. Для каждого хвостохранилища или ёмкости-хранилища должны быть установлены сроки хранения радиоактивных отходов, объёмы, удельная активность, общая активность, величины миграции радионуклидов. Для всех планируемых мероприятий должен проводиться анализ безопасности [55].

Выделяют два этапа хранения радиоактивных отходов:

* буферное хранение исходных радиоактивных отходов;
* промежуточное хранение кондиционированных радиоактивных отходов [21].

Буферное хранение является одним из главных компонентов предварительной обработки отходов - сбор и разделение. Такое хранение на определённых локальных площадках помогает осуществлять разделение отходов на категории с дальнейшей транспортировкой до следующего этапа обращения с ними; в определённых моментах буферное хранение может являться частью процедуры кондиционирования (сбор - кондиционирование на месте) [21].

Для соблюдения защиты и безопасности хранилища оборудуются соответствующими инженерными барьерами. Отходы при хранении должны быть разделены в зависимости от удельной активности для обеспечения безопасности при дальнейшем обращении.

Определение места, размера хранилища и его защитных сооружений должно основываться на грамотной оценке состава, удельной активности и агрегатного состояния отходов, объёмов образования и объёмов их переработки [21].

Низкоактивные отходы, которые могут содержать, например, такие радионуклиды (или продукты деления), как 32Р, 99Мо, 125J и 131J направляются в специальные бассейны выдержки для уменьшения радиоактивности до нормативных требований [21].

Такая выдержка многих низкоактивных радиоактивных отходов позволяет производить их захоронение вместе с бытовыми отходами.

Причинами промежуточного хранения кондиционированных отходов являются, во-первых, снижение активности радиоактивных упаковок с отходами для упрощения их дальнейшего захоронения с соблюдением установленных критериев, а во-вторых, отсутствие возможности захоронения таких отходов [21].

Промежуточное хранение кондиционированных отходов может осуществляться в специальных ангарах или под открытым небом, с условием безопасной защиты упаковок, например, бетонными контейнерами; в специальных инженерных сооружениях с соответствующей инфраструктурой. В зависимости от характеристик отходов и требования безопасности хранилища оборудуются вентиляцией, системами безопасности (в том числе пожаротушения), автономными приборами для замера радиоактивности, дистанционными и иными погрузчиками и мостами. Хранилище должно обеспечивать защиту радиоактивных отходов от неблагоприятных условий (морозы, повышенная влажность), от несанкционированного доступа посторонних лиц, от коррозии, животных, а также удаление образующихся при делении взрывоопасных смесей посредством вентиляции. Также в хранилищах должен вестись учёт и контроль размещения отходов [21].

**6.5 Иностранный опыт захоронения радиоактивных отходов**

В большинстве случаев в зарубежных странах радиоактивные отходы захораниваются в различных типах приповерхностных хранилищ. Все варианты реализации приповерхностных захоронений РАО опираются на систему пассивных барьеров безопасности для предотвращения перемещения радионуклидов в биосферу или же значительного его замедления. При этом используются различные сочетания инженерных и естественных барьеров. Особенности применяемых барьеров могут существенно отличаться в том или ином проекте приповерхностного захоронения. Существует несколько концепции подобных захоронений, в зависимости от их расположения относительно поверхности земли [57].

В случае захоронения на поверхности могильник сооружается непосредственно на поверхности земли, образуя возвышение. При этом используются преимущественно инженерные барьеры, а наибольшие усилия направлены на то, чтобы предотвратить проникновение воды в само захоронение и таким образом контролировать перемещение радионуклидов, являющееся само по себе очень медленным процессом. Примерами подобных захоронений могут служить могильники РАО в департаменте во Франции и Эль Кабриль в Испании. Так как отходы размещаются высоко над грунтовыми водами, то они остаются сухими до тех пор, пока защитные барьеры находятся в целости, что при осуществлении должного контроля может продолжаться сотни лет. Другое преимущество данного подхода заключается в том, что требования к площадке предъявляются умеренные, то есть бывает сравнительно легко найти места, отвечающие техническим требованиям к такому типу захоронения. При этом главным недостатком такого варианта решения проблемы обращения с РАО является тот факт, что покрытие захоронения подвергается выветриванию и особенно эрозии, что может в перспективе нанести ущерб его целостности [57].

При траншейном типе захоронения отходы размещаются в инженерных траншеях непосредственно в земле. Захоронение может располагаться как над грунтовыми водами, так и под ними. При этом стоимость строительства двух вышеупомянутых типов захоронений схожая, но для захоронения траншейного типа зачастую бывает сложнее найти технически приемлемое место, так как предъявляются более высокие требования к гидрогеологическим параметрам. Воздействие выветривания и эрозии при таком варианте обращения с РАО по понятным причинам существенно ниже, чем при захоронении на поверхности, но из-за того, что оно обычно размещается ближе к грунтовым водам, бывает несколько сложнее оценить долговременную безопасность. Коррозия и разложение инженерных конструкций могут быть более значительными с течением времени. Примерами захоронений траншейного типа могут служить могильники РАО в Селлафилде (Великобритания) и в Рокасё Мура (Япония) [57].

В случае реализации подземного варианта захоронения, РАО могут размещаться в разработанных подземных полостях с возможностью доступа к ним через специальные туннели. В Швеции и Финляндии подобные захоронения РАО созданы в кристаллической породе. Кроме того, в различных странах мира (Германия, Россия, Бельгия) проводились или проводятся исследования относительно возможности создания подобных объектов в солевой породе или в глине. В этом случае отходы обычно размещаются под грунтовыми водами и таким образом, на всем протяжении периода эксплуатации подобного могильника вокруг его инженерных барьеров будет находиться насыщенная водой среда. По понятным причинам, требования к месту строительства подобного подземного захоронения гораздо выше, чем при реализации варианта на поверхности или близко от поверхности земли, поэтому найти технически приемлемые места не так просто. Создание подземных захоронений также является более дорогим мероприятием, по сравнению с двумя вариантами, описанными выше. Преимуществом данного подхода является то, что подземное захоронение будет занимать меньше площади на поверхности, будет менее заметным [57].

**6.6 Проблемы захоронения радиоактивных отходов в морях**

Захоронение жидких и твёрдых радиоактивных отходов в морях осуществлялось многими странами, имеющими атомный флот и атомную промышленность. В международно-правовом плане вопросы захоронения радиоактивных отходов в морях регулируются Конвенцией по предотвращению загрязнения морей сбросами отходов и других материалов, подписанной в Лондоне в 1972 году и вступившей в силу 30 августа 1975 года. Действие Конвенции распространяется на все морские пространства, кроме внутренних морских вод [58].

Согласно Лондонской конвенции стороны взяли на себя обязательства принимать всевозможные меры для предотвращения загрязнения моря сбросами отходов и других материалов, которые могут представлять опасность для здоровья людей, нанести ущерб живым ресурсам и жизни моря. Запрещается сброс отходов с высоким и средним уровнями активности. Захоронение радиоактивных отходов с низким и средним уровнем активности допускается по специальным разрешениям с уведомлением Секретариата Международной морской организации. Но при наличии на борту судна, осуществляющего операции по захоронению, наблюдателя компетентной международной организации, а также при соблюдении трех главных требований МАГАТЭ: расположение мест захоронения должно быть за пределами континентального шельфа, внутренних и окраинных морей; глубины в районе захоронения должны быть не менее 4000 м; захоронение возможно только в районах между 50° северной широты и 50° южной широты [58].

На Конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро в июне 1992 г. с участием России был единогласно принят основной программный документ «Повестка дня XXI века», предлагающий перейти к запрету такой практики, с учётом «предупредительного подхода в целях принятия обоснованного и своевременного решения этой проблемы».

Были также приняты и другие региональные многосторонние соглашения, связанные с проблемами захоронения в морях радиоактивных отходов. Наиболее важными из них являются: Конвенция по защите морской среды района Балтийского моря (1992 г.), Конвенция по защите морской среды Северо-Восточной Атлантики (Париж, 1992 г.), Конвенция по защите Черного моря от загрязнения (Бухарест, 1992 г.) [58].

Первое захоронение РАО в морях было произведено в 1946 году США в северо-восточной части Тихого океана на расстоянии около 80 км от побережья Калифорнии. Это означает, что сброс радиоактивных отходов низкого уровня активности в море начался практически одновременно с широким развитием атомной энергетики и промышленности. С 1949 года сбросы стали производиться Великобританией, с 1955 года - Японией, с 1965 - Нидерландами. До 1983 года 12 стран практиковали сброс радиоактивных отходов в открытое море. Среди них наибольшее количество сбросов произвели Великобритания и США. Так, Великобритания осуществила за период с 1949 по 1982 год 34 сброса твёрдых радиоактивных отходов в 15 точках Северной Атлантики, Ла-Манша, Бискайского залива и Канарских островов. Масса захороненных контейнеров составила 74052 тонны. Кроме того, в Великобритании широко практиковалось удаление жидких радиоактивных отходов с предприятия атомной промышленности в Селлафильде посредством их сброса через трубопроводы в Ирландское море. Масштабы сбросов были настолько велики, что их влияние прослеживалось до Баренцева и Карского морей [58].

США, по неполным официальным данным, представленным в МАГАТЭ, с 1949 по 1967 год осуществили в 11 точках Атлантики захоронение 34282 контейнеров, в том числе на минимальной глубине до 11 м. В воды Тихого океана за период с 1949 по 1970 год был сброшен 560261 контейнер с радиоактивными отходами.

Начиная с 1977 года Агентство по защите окружающей среды США проводило радиологические исследования в местах захоронения радиоактивных отходов в Северо-Западной Атлантике и в Тихом океане. В ряде случаев обнаружен высокий уровень цезия вблизи захороненных контейнеров. Большинство государств выступает за запрещение захоронения любых видов РАО в море, учитывая нарастающую в мире и в отдельных странах озабоченность загрязнением морской среды радиоактивными отходами. Однако ряд стран или уклоняются от прямого ответа, или настаивают на переходном периоде.

После вступления в силу Лондонской конвенции СССР принял ряд мер, направленных на выполнение международных норм и взятых обязательств в этой области. Были поэтапно сокращены, а затем полностью прекращены сбросы РАО с объектов Мурманского морского пароходства. В 1959 году в Белом море был осуществлен слив 600 м3 низкоактивных отходов. С 1960 года начинается практика регулярного сброса жидких радиоактивных отходов, а с 1964 года - захоронение твёрдых радиоактивных отходов в северных и дальневосточных морях. Как правило, низко- и среднеактивные твёрдые отходы, затопленные в северных морях, были заключены в металлические контейнеры. Крупногабаритные радиоактивные отходы затоплены отдельно или внутри специально выделенных судов - барж, лихтеров, танкеров. С 1986 года Мурманское морское пароходство захоронение ТРО в море прекратило, в 1984 г. были прекращены сбросы ЖРО. Среди всех захоронений РАО в северных морях наибольшую экологическую опасность представляют затопленные объекты с отработанным ядерным топливом, являющимся смесью продуктов деления и актиноидов [58].

Сброс жидких радиоактивных отходов в дальневосточных морях проводился СССР с 1966 по 1991 год в пяти районах. Наибольшее количество ЖРО по объёму было сброшено вблизи юго-восточного побережья полуострова Камчатка, а по общей активности - в районе Японского моря. Максимальное количество жидких радиоактивных отходов по активности было сброшено в 1986 году. Что же касается твёрдых радиоактивных отходов, то, по официальным данным, на Дальнем Востоке было затоплено около 6700 контейнеров, 38 судов, 100 отдельных крупногабаритных объектов, а также 2 реактора. В настоящее время сброс и захоронение радиоактивных отходов в РФ находится под полным запретом [58].

Окончательный выбор метода и способа захоронения определяется такими факторами, как свойства, агрегатное состояние радиоактивных отходов и наличие на определённой территории подходящих геологических формаций; немаловажным фактором является финансовое обеспечение деятельности, наличие соответствующих технологий и опыта. В Российской Федерации радиоактивные отходы (большая часть) находятся преимущественно на стадии временного хранения, остальные отходы захораниваются в приповерхностных пунктах захоронения твёрдых и жидких радиоактивных отходов. Захоронение радиоактивных отходов в морях запрещено. Для решения проблемы захоронения радиоактивных отходов в РФ предпочтительнее всего разрабатывать и реализовывать проекты локализации таких отходов в глубинных геологических формациях.

Заключение

Анализ ситуации с радиоактивными отходами в зарубежных странах и Российской Федерации показывает острую необходимость пересмотра стадий и методов обращения с ними.

Для повышения безопасности отходы должны проходить все основные стадии обращения с ними; для твёрдых и жидких радиоактивных отходов - сбор, сортировка, транспортирование, обработка, кондиционирование, временное хранение и захоронение.

Ситуация с отходами в РФ характеризуется тем, что большая часть жидких радиоактивных отходов при цикле обращения с ними не переводится в твёрдую форму, создавая большую угрозу окружающей среде и человеку. Их захоронение производится путём закачки объёмов в глубокие геологические пласты; в СССР же около четверти всех жидких отходов собиралось в герметичные бочки и захоранивалось в северных морях. Такая практика приводит к повышению радиационного фона и абсолютно не приемлема.

Для повышения безопасности при обращении с радиоактивными отходами и минимизации негативного воздействия радионуклидов, содержащихся в них, на окружающую среду и населения необходимо пересмотреть существующие концепции и как можно ближе приблизиться к соблюдению принципов обращения с радиоактивными отходами:

запрет на сброс в окружающую среду любых радиоактивных отходов, независимо от агрегатного состояния и степени активности;

создание на территориях АЭС локальных цехов или площадок по частичной переработке радиоактивных отходов - такой подход позволит снизить радиационную нагрузку на персонал и затраты на транспортировку отходов до специальных предприятий по их переработке;

повышение финансирования сферы обращения с радиоактивными отходами и внимания со стороны государства;

разработка новых и модернизация существующих технологий переработки радиоактивных отходов и оборудования, а также открытый обмен опытом с другими странами;

захоронение, а также временное хранение радиоактивных отходов должно проводиться только в защитных контейнерах в специальных подземных сооружениях, необходимо забыть о практике открытого хранения;

высокоактивные отходы после соответствующей выдержки должны подлежать захоронению в глубинных хранилищах или формациях с учётом требований безопасности;

необходимо сводить к минимуму или вовсе устранять любой контакт человека с радиоактивными отходами; транспортировка, сортировка и перемещение отходов должны быть полностью автоматизированы;

необходим запрет на хранение радиоактивных отходов, особенно жидких, на открытых площадках и ёмкостях.

Безопасное обращение с радиоактивными отходами, то есть минимальное воздействие содержащихся в отходах радионуклидов на окружающую среду и человека, позволит получать большое количество энергии от АЭС без существенного негативного воздействия.

радиация экологический законодательство захоронение

Список использованной литературы

1. Глухов Н.В., Лисочкина Т.В., Некрасова Т.П. «Промышленная экология» [Текст]: учебное пособие - СПб: Специальная литература, 2009. - 182 с.
2. Ахмедзянов В.Р., Лащёнова Т.Н. «Обращение с радиоактивными отходами» [Текст]. - М.: Энергия, 2008. - 210 с.
3. Лекции профессора И.Н. Бекмана 2013. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://profbeckman.narod.ru.
4. ГОСТ Р 50996-96 «Сбор, хранение, переработка и захоронение радиоактивных отходов. Термины и определения». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://vsegost.com.
5. НП-019-2000 «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://gosthelp.ru.
6. НП-069-2006 «Приповерхностное захоронение радиоактивных отходов. Требования безопасности». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://gosthelp.ru.
7. Википедия [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://wikipedia.ru.
8. Ким Д., Геращенко Л.А. Радиационная экология [Текст]: учебное пособие. - Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2010. - 213 с.
9. Руднев А.В. «Радиационная экология» [Текст]. Учеб. пособие А.В. Руднев-М.: издательство МГУ, 1999. - 88 с.
10. Орлова А.И. «Радиоактивность и экология» [Текст]. // Бюллетень Центра общественной информации по атомной энергии. - 1994. - №10 - С. 22 - 27.
11. Правовой портал [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://uristinfo.net/obzhd.
12. Ядерная физика [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://nuclphys.sinp.msu.ru.
13. Глухов Н.В., Лисочкина Т.В., Некрасова Т.П. «Промышленная экология» [Текст]: учебное пособие - СПб: Специальная литература, 2009. - 56 с.
14. Международная комиссия по радиологической защите. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.atomic-energy.ru.
15. Брылева В.А., Кузьмина Н.Д., Нарейко Л.М. «Атомная энергетика. Радиоактивные отходы АЭС» [Текст]. Информационный бюллетень Гос. науч. учреждение «Объед. институт энерг. и ядерных иссл. - Сосны», 2010 № 10-11 - С. 1 -8.
16. Федеральный закон от 11.07.2011 N 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://base/consultant.ru.
17. СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://consultant.ru.
18. СП 2.6.6.1168-02. Радиоактивные отходы. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://base/consultant.ru.
19. Государственная корпорация «Росатом», классификации РАО [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://.rosrao.ru.
20. Атомные электростанции России. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://nuclear-power.ru.
21. Ключников А.А., Пазухин Э.М., Шигера Ю.М., Шигера В.Ю. «Радиоактивные отходы АЭС и методы обращения с ними» [Текст]: монография. - К.: ИПБ АЭС НАН Украины. -2005. - С.
22. Скачек М.А. «Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС» [Текст]: Учебное пособие М.А. Скачек-М.: издательство МЭИ, 2007. - 82 с.
23. Журнал «Наука и жизнь», статья «Комплексная переработка твердых радиоактивных отходов методом плавления» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://nkj.ru.
24. Никифоров А.С., Куличенко В.В., Жихарев М.И. «Обезвреживание жидких радиоактивных отходов» [Текст]: - М.: Энергоатомиздат, 1985. - С.
25. Объединённая конвенция о безопасности обращения с отработавшим ядерным топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами 2009 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www-ns.iaea.org.
26. Государственная корпорация «Росатом» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://.rosrao.ru.
27. Федеральный закон от 21.11.1995 N 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://base/consultant.ru.
28. Федеральный закон от 9.01.1996 N 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://base/consultant.ru.
29. Федеральным законом от 30.03.1999 N 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://base/consultant.ru.
30. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ «Об охране окружающей среды». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://base/consultant.ru.
31. Федеральный закон от 1.12.2007 N 317-ФЗ «О Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://base/consultant.ru.
32. Федеральный закон от 21.02.1992 N 2395-1 «О недрах» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://base/consultant.ru.
33. Водный кодекс Российской Федерации. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://base/consultant.ru.
34. ГОСТ 12.1.048-85. Система стандартов безопасности труда. Контроль радиационный при захоронении радиоактивных отходов. Номенклатура контролируемых параметров [Текст]. - М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. - 1 с.
35. ГОСТ Р 51883-2002. Отходы радиоактивные цементированные. Общие технические требования [Текст]. - М.: Госстандарт России, 2002. - 1 с.
36. ГОСТ Р 50927-96. Отходы радиоактивные битумированные. Общие технические требования [Текст]. - М.: Госстандарт России, 1996. - 1 - 2 с.
37. ГОСТ Р 50996-96. Сбор, хранение, переработка и захоронение радиоактивных отходов. Термины и определения [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://gosthelp.ru.
38. ГОСТ Р 51824-2001. Контейнеры защитные невозвратные для радиоактивных отходов из конструкционных материалов на основе бетона. Общие технические требования [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://gosthelp.ru.
39. ГОСТ Р 50926-96. Отходы высокоактивные отверждённые. Общие технические требования [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://gosthelp.ru.
40. ОСТ 95 10517-95. Хранилища твердых радиоактивных отходов. Общие требования [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://docs.cntd.ru.
41. НП-055-04. Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://base.garant.ru.
42. НП-058-04. Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://base.garant.ru.
43. НП-020-2000. Сбор, переработка, хранение и кондиционирование твердых радиоактивных отходов. Требования безопасности [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://complexdoc.ru.
44. НП-016-05. Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://complexdoc.ru.
45. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности. Санитарные правила и нормативы (НРБ 99/2009) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://base/consultant.ru.
46. НП-067-05. Основные правила учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в организации [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://complexdoc.ru.
47. НП-002-04. Правила безопасности при обращении с радиоактивными отходами атомных станций [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://complexdoc.ru.
48. В. Нойман «Утилизация ядерных отходов в Европейском союзе: Рост объёмов и никакого решения» [Текст] - Воронеж: - Green European Foundation, 2012. - 60 с.
49. Газета «Промышленные ведомости». Статья «Радиоактивные отходы: хранение и переработка» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://.promved.ru.
50. Общественный фонд «За природу [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://decomatom.org.ru.
51. И.А. Андрюшин, Ю.А. Юдин «Обзор проблем обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом» [Текст] - Саров:
52. В.Т. Сорокин, А.В. Дёмин, Р.М. Гатауллин «Контейнеры для радиоактивных отходов низкого и среднего уровня активности» [Текст]: статья - М.: ОАО «Головной институт «ВНИПИЭТ», 2013. - С. 2 - 8.
53. ОАО «345 Механический завод» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http:// 345mz.ru.
54. Е.Н. Камнев, В.Н. Морозов, И.Ю. Шищиц «Выбор площадок для захоронения радиоактивных отходов в геологических формациях» [Текст]: - учебное пособие - М.: Горная книга, 2011. - с.
55. Н.С. Пронкин «Обеспечение безопасности обращения с радиоактивными отходами предприятий ядерного топливного цикла» [Текст]: - учебное пособие - М.: Логос, 2012. - 420 с.
56. И.О. Шищиц «Проблемы подземной изоляции радиоактивных отходов и материалов» [Текст]: - учебное пособие - М.: издательство МГГУ, 2002. - 40 с.
57. Захоронение радиоактивных отходов [Электронный ресурс]: - режим доступа: http://www.atominfo.ru.
58. Экологические новости [Электронный ресурс]: - режим доступа: http://bellona.ru.