## Содержание

1. Введение 2

2.Радиоактивные отходы. Происхождение и классификация. 4

2.1 Происхождение радиоактивных отходов. 4

2.2 Классификация радиоактивных отходов 5

3. Захоронение радиоактивных отходов. 7

3.1. Захоронение РАО в горных породах 8

3.1.1 Основные типы и физико-химические особенности горных пород для захоронения ядерных отходов. 15

3.1.2 Выбор места захоронения радиоактивных отходов. 18

3.2 Глубокое геологическое захоронение РАО . 19

3.3 Приповерхностное захоронение 20

3.4Плавление горной породы 21

3.5Прямое закачивание 22

3.6Другие способы захоронения РАО 23

3.6.1Удаление в море 23

3.6.2 Удаление под морское дно 23

3.6.3 Удаление в зоны подвижек 24

3.6.4 Захоронение в ледниковые щиты 25

3.6.5 Удаление в космическое пространство 25

4. Радиоактивные отходы и отработавшее ядерное топливо в атомной энергетике России. 25

5. Проблемы системы обращения с РАО в России и возможные пути ее решения 26

5.1 Структура системы обращения с РАО в РФ 26

5.2 Предложения по изменению доктрины обращения с РАО 28

6. Заключение 29

7. Список использованной литературы: 30

#  1. Введение

Вторая половина ХХ века ознаменовалась резким обострением экологических проблем. Масштабы техногенной активности человечества в настоящее время уже сравнимы с геологическими процессами. К прежним типам загрязнений окружающей среды, получивших экстенсивное развитие, добавилась новая опасность радиоактивного заражения. Радиационная обстановка на Земле за последние 60-70 лет подверглась существенным изменениям: к началу Второй мировой войны во всех странах мира имелось около 10-12 г полученного в чистом виде естественного радиоактивного вещества- радия. В наши дни один ядерный реактор средней мощности производит 10 т искусственных радиоактивных веществ, большая часть которых, правда, относится к короткоживущим изотопам.Радиоактивные вещества и источники ионирующего излучения используются практически во всех отраслях промышленности, в здравоохранении, при проведении самых разнообразных научных исследований.

За последние полвека на Земле образовались десятки миллиардов кюри радиоактивных отходов, и эти цифры увеличиваются с каждым годом. Особенно острой проблема утилизации и захоронения РАО атомных электростанций становится в настоящее время, когда наступает время демонтажа большинства АЭС в мире (по данным МАГАТЭ, это более 65 реакторов АЭС и 260 реакторов, использующихся в научных целях). Несомненно, что самый значительный объем РАО образовался на территории нашей страны в результате реализации военных программ на протяжении более 50 лет. Во время создания и совершенствования ядерного оружия одной из главных задач была быстрая наработка ядерных делящихся материалов, дающих цепную реакцию. Такими материалами являются высокообогащенный уран и оружейный плутоний. На Земле образовались самые большие наземные и подземные хранилища РАО, представляющие огромную потенциальную опасность для биосферы на многие сотни лет.

http://zab.chita.ru/admin/pictures/424.jpgВопрос обращения с радиоактивными отходами предполагает оценку различных категорий и методов их хранения, а также разные требования в отношении защиты окружающей среды. Целью ликвидации является изоляция отходов от биосферы на чрезвычайно длительные периоды времени, обеспечение того, что остаточные радиоактивные вещества, достигающие биосферы, будут в незначительных концентрациях в сравнении, например, с естественным фоном радиоактивности, а также обеспечение уверенности в том, что риск при небрежном вмешательстве человека будет очень мал . Захоронение в геологическую среду, широко предлагается для достижения этих целей.

Однако,существует множество разнообразных предложений относительно способов захоронения радиоактивных отходов, например:

* Долговременное наземное хранилище,
* Глубокие скважины(на глубине несколько км),
* Плавление горной породы(предлагалось для отходов, выделяющих тепло)
* Прямое закачивание(подходит только для жидких отходов),
* Удаление в море,
* Удаление под дно океана,
* Удаление в зоны подвижек,
* Удаление в ледниковые щиты,
* Удаление в космос

Некоторые предложения еще только разрабатываются учеными разных стран мира, другие уже были запрещены международными соглашениями.Большинство ученых, исследующих данную проблему, признают наиболее рациональной возможность захоронения радиоактивных отходов в геологичекую среду.

Проблема РАО – составная часть «Повестки дня на XXI век»», принятой на Всемирной встрече на высшем уровне по проблемам Земли в Рио-де-Жанейро (1992) и «Программы действий по дальнейшему осуществлению “Повестки дня на ХХI век”», принятой Специальной сессией Генеральной Ассамблеи Организации Объединенных Наций (июнь 1997 г.). В последнем документе, в частности, намечена система мер по совершенствованию методов обращения с радиоактивными отходами, по расширению международного сотрудничества в этой области (обмен информацией и опытом, помощь и передача соответствующих технологий и др.), по ужесточению ответственности государств за обеспечение безопасного хранения и удаления РАО.

В свой работе я попробую проанализировать и дать оценку утилизации радиоактивных отходов в геологической среде, а также возможных поледствий такого захоронения.

# 2. Радиоактивные отходы.Происхождение и классификация.

## 2.1 Происхождение радиоактивных отходов.

К радиоактивным отходам относятся не подлежащие дальнейшему использованию материалы, растворы, газообразные среды, изделия, аппаратура, биологические объекты, грунт и т.п., в которых содержание радионуклидов превышает уровни, установленные нормативными актами. В категорию «РАО» может быть включено также отработавшее ядерное топливо (ОЯТ), если оно не подлежит последующей переработке с целью извлечения из него компонентов и после соответствующей выдержки направляется на захоронение. РАО подразделяются на высокоактивные отходы (ВАО), среднеактивные (САО) и низкоактивные (НАО). Деление отходов по категориям устанавливается нормативными актами.

Радиоактивные отходы представляют собой смесь стабильных химических элементов и радиоактивных осколочных и трансурановых радионуклидов. Осколочные элементы с номерами 35-47; 55-65 являются продуктами деления ядерного топлива. За 1 год работы большого энергетического реактора (при загрузке 100 т ядерного топлива c 5% урана-235) вырабатывается 10% (0.5 т) делящегося вещества и производится примерно 0.5 т осколочных элементов. В масштабах страны ежегодно только на энергетических реакторах АЭС вырабатывается 100 т осколочных элементов. [1]

Основными и *наиболее опасными* для биосферы элементами радиоактивных отходов являются *Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Ru, Rh, Pd, I, Cs, Ba, La....Dy* и трансурановые элементы: *Np, Pu, Am и Cm*. Растворы радиоактивных отходов высокой удельной активности по составу представляют собой смеси азотнокислых солей с концентрацией азотной кислоты до 2,8 моль/литр, в них присутствуют добавки *HF* (до 0,06 моль/литр) и *H2SO4* (до 0.1 моль/литр). Общее содержание солей конструкционных элементов и радионуклидов в растворах составляет приблизительно 10 мас%.Трансурановые элементы образуются в результате реакции нейтронного захвата. В ядерных реакторах топливо (обогащенный природный уран) в виде таблеток *UO2* помещается в трубки из циркониевой стали (тепловыделяющий элемент - ТВЭЛ). Эти трубки располагаются в активной зоне реактора, между ними помещаются блоки замедлителя (графита), регулирующие стрежни (кадмиевые) и трубки охлаждения, по которым циркулирует теплоноситель - чаще всего, вода. Одна загрузка ТВЭЛов работает примерно 1-2 года.

Радиоактивные отходы образуются:

  • при эксплуатации и снятии с эксплуатации предприятий ядерного топливного цикла (добыча и переработка радиоактивных руд, изготовление тепловыделяющих элементов, производство электроэнергии на АЭС, переработка отработавшего ядерного топлива);

  • в процессе реализации военных программ по созданию ядерного оружия, консервации и ликвидации оборонных объектов и реабилитации территорий, загрязненных в результате деятельности предприятий по производству ядерных материалов;

  • при эксплуатации и снятии с эксплуатации кораблей военно-морского и гражданского флотов с ядерными энергетическими установками и баз их обслуживания;

  • при использовании изотопной продукции в народном хозяйстве и медицинских учреждениях;

  • в результате проведения ядерных взрывов в интересах народного хозяйства, при добыче полезных ископаемых, при выполнении космических программ, а также при авариях на атомных объектах.[ ]

При использовании радиоактивных материалов в медицинских и других научно-исследовательских учреждениях образуется значительно меньшее количество РАО, чем в атомной отрасли промышленности и военно-промышленном комплексе – это несколько десятков кубических метров отходов в год. Однако применение радиоактивных материалов расширяется, а вместе с ним возрастает объем отходов.

## 2.2 Классификация радиоактивных отходов

РАО классифицируют по различным признакам (рис. 1): по агрегатному состоянию, по составу (виду) излучения, по времени жизни (периоду полураспада *Т*1/2), по удельной активности (интенсивности излучения). Однако, у используемой в России классификации РАО по удельной (объемной) активности есть свои недостатки и положительные стороны. К недостаткам можно отнести то, что в ней не учитывается период полураспада, радионуклидный и физико-химический состав отходов, а также наличие в них плутония и трансурановых элементов, хранение которых требует специальных жестких мер. Положительной стороной является то, что на всех этапах обращения с РАО включая хранение и захоронение главной задачей является предотвращение загрязнения окружающей среды и переоблучения населения, и разделение РАО в зависимости от уровня удельной (объемной) активности именно и определяется степенью их воздействия на окружающую среду и человека. На меру радиационной опасности влияет вид и энергия излучения (альфа-, бета-, гамма – излучатели), а также наличие химически токсичных соединений в отходах. Продолжительность изоляции от окружающей среды среднеактивных отходов составляет 100-300 лет, высокоактивных – 1000 и более лет, для плутония – десятки тысяч лет. Важно отметить, что РАО делятся в зависимости от периода полураспада радиоактивных элементов: на короткоживущие период полураспада меньше года; среднеживущие от года до ста лет и долгоживущие более ста лет.

Рис.1 Классификация радиоактивных отходов.

Среди РАО наиболее распространенными по агрегатному состоянию считаются жидкие и твердые. Для классификации жидких РАО был использован параметр удельной (объемной) активности таблица 1.**Жидкими РАО** считаются жидкости, в которых допустимая концентрация радионуклидов превышает концентрацию установленную для воды открытых водоемов. Ежегодно на АЭС образуется большое количество жидких радиоактивных отходов (ЖРО). В основном большинство ЖРО просто сливается в открытые водоемы, так как их радиоактивность считается безопасной для окружающей среды. Жидкие РАО образуются также на радиохимических предприятиях и исследовательских центрах.

Таблица 1. Классификация жидких радиоактивных отходов

|  |  |
| --- | --- |
| **Категории РАО** | **Удельная активность, Ки/л (Бк/кг)** |
| Низкоактивные | ниже 10-5 (ниже 3,7\*105) |
| Среднеактивные | 10-5 – 1 (3,7\*105 - 3,7\*1010) |
| Высокоактивные | выше 1 (выше 3,7\*1010) |

Из всех видов РАО жидкие наиболее распространены, так как в растворы переводят как вещество конструкционных материалов (нержавеющих сталей, циркониевых оболочек ТВЭЛов и т.п.), так и технологические элементы (соли щелочных металлов и др.). Большая часть жидких РАО образуется за счет атомной энергетики. Отработавшие свой ресурс ТВЭЛы, объединенные в единые конструкции - тепловыделяющие сборки, аккуратно извлекают и выдерживают в воде в специальных бассейнах-отстойниках для снижения активности за счет распада короткоживущих изотопов. За три года активность снижается примерно в тысячу раз. Затем ТВЭЛы отправляют на радиохимические заводы, где их измельчают механическими ножницами и растворяют в горячей 6-нормальной азотной кислоте. Образуется 10% раствор жидких высокоактивных отходов. Таких отходов производится порядка 1000 т в год по всей России (20 цистерн по 50 т.).

Для **твердых РАО** был использован вид доминирующего излучения и мощности экспозиционной дозы непосредственно на поверхности отходов таблица 2.

Таблица 2. Классификация твердых радиоактивных отходов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Категории РАО | Мощность экспозиционной дозы, Р/ч | Вид доминирующего излучения |
| альфа-излучатели, Ки/кг | бета-излучатели, Ки/кг | Мощность дозы гамма-излучения (0,1м от поверхности), Гр/ч |
| Низкоактивные | ниже 0,2 | 2\*10-7 – 10-5 | 2\*10-6 – 10-4 | 3\*10-7 – 3\*10-4 |
| Среднеактивные | 0,2 – 2 | 10-5 – 10-2 | 10-4 – 10-1 | 3\*10-4 – 10-2 |
| Высокоактивные | выше 2 | выше 10-2 | выше 10-1 | выше 10-2 |

Твердые РАО — это та форма радиоактивных отходов, которая непосредственно подлежит хранению или захоронению. Существует 3 основных вида твердых отходов :

остатки урана или радия, не извлеченныме при переработке руд,

искусственные радионуклиды, возникшие при работе реакторов и ускорителей,

 выработавшие ресурс, демонтированные реакторами, ускорителями, радиохимическим и лабораторным оборудованием.

Для классификации **газообразных РАО** также используется параметр удельной (объемной) активности таблица 3.

Таблица 3. Классификация газообразных радиоактивных отходов

|  |  |
| --- | --- |
| Категории РАО | Объемная активность, Ки/м3 |
| Низкоактивные | ниже 10-10 |
| Среднеактивные | 10-10 - 10-6 |
| Высокоактивные | выше 10-6 |

Газообразные РАО образуются в основном при работе АЭС, радиохимических заводов по регенерации топлива, а также при пожарах и других аварийных ситуациях на ядерных объектах.

Это радиоактивный изотопводорода 3Н (тритий), который не задерживается нержавеющей сталью оболочки твэлов, но поглощается (99 %) циркониевой оболочкой. Кроме того при делении ядерного топлива образуется радиогенный углерод, а также радионуклиды криптона и ксенона.

Инертные газы, в первую очередь 85Kr (T1/2 = 10,3 года), предполагают улавливать на предприятиях радиохимической промышленности, выделяя его из отходящих газов с помощью криогенной техники и низкотемпературной адсорбции. Газы с тритием окисляются до воды, а углекислый газ, в котором присутствует радиогенный углерод, химически связывается в карбонатах.

# 3. Захоронение радиоактивных отходов.

Проблема безопасного захоронения РАО является одной из тех проблем, от которых в значительной мере зависят масштабы и динамика развития ядерной энергетики. Генеральной задачей безопасного захоронения РАО является разработка таких способов их изоляции от биоцикла, которые позволят устранить негативные экологические последствия для человека и окружающей среды. Конечной целью заключительных этапов всех ядерных технологий является надежная изоляция РАО от биоцикла на весь период сохранения отходами радиотоксичности.

В настоящее время разрабатываются технологии иммобилизации РАО и исследуются различные способы их захоронения, основными критериями при выборе которого для широкого использования являются следующие: – минимизация затрат на реализацию мероприятий по обращению с РАО; – сокращение образующихся вторичных РАО.

За последние годы создан технологический задел для современной системы обращения с РАО. В ядерных странах имеется полный комплекс технологий, позволяющих эффективно и безопасно перерабатывать радиоактивные отходы, минимизируя их количество. В общем виде цепь технологических операций обращению с ЖРО может быть представлена в следующем виде : Однако нигде в мире не выбран метод окончательного захоронения РАО, технологический цикл обращения с РАО, не является замкнутым: oтвержденные ЖРО, так же как и ТРО, хранятся на специальных контролируемых площадках, создавая угрозу радиоэкологической обстановке мест хранения.


## 3.1. Захоронение РАО в горных породах

На сегодняшний день всеобще признано (в том числе и МАГАТЭ), что наиболее эффективным и безопасным решением проблемы окончательного захоронения РАО является их захоронение в могильниках на глубине не менее 300-500 м в глубинных геологических формациях с соблюдением принципа многобарьерной защиты и обязательным переводом ЖРО в отвержденное состояние. Опыт проведения подземных ядерных испытаний доказал, что при определенном выборе геологических структур не происходит утечки радионуклидов из подземного пространства в окружающую среду.

Таким образом, при решении проблемы обезвреживания радиоактивных отходов использование *“опыта, накопленного природой”*, прослеживается особенно наглядно. Недаром именно специалисты в области экспериментальной петрологии оказались едва ли не первыми, кто оказался готов решать возникшую проблему.

Они позволяют выделять из смеси элементов радиоактивных отходов отдельные группы, близкие по своим геохимическим характеристикам, а именно:

* щелочные и щелочноземельные элементы;
* галогениды;
* редкоземельные элементы;
* актиниды.

Для этих групп элементов можно попытаться найти породы и минералы, перспективные для их **связывания**.

Природные химические (и, даже, ядерные) реакторы, производящие токсичные вещества, - не новость в геологической истории Земли. В качестве примера можно привести месторождение Окло, где ~ 200 млн. лет назад в течение 500 тыс. лет на глубине ~ 3,5 км действовал природный реактор, прогревавший окружающие породы до 600°С. Сохранение большинства радиоизотопов на месте их образования обеспечивалось их изоморфным вхождением в уранинит. Растворению же последнего, препятствовала восстановительная обстановка. Тем не менее около 3 млрд. лет назад на планете зародилась, успешно сосуществует рядом с очень опасными веществами и развивается жизнь.

Рассмотрим основные пути саморегуляции природы с точки зрения их использования в качестве методов обезвреживания отходов техногенной деятельности человечества. Намечаются четыре таких принципа.

а) Изоляция - вредные вещества концентрируются в контейнерах и защищаются специальными барьерными веществами. Природным аналогом контейнеров могут служить слои водоупоров. Однако, это - не слишком надежный способ обезвреживания отходов: при хранении в изолированном объеме опасные вещества сохраняют свои свойства и при нарушении защитного слоя могут вырываться в биосферу, убивая все живое. В природе разрыв таких слоев приводит к выбросам ядовитых газов (вулканическая активность, сопровождающаяся взрывами и выбросами газов, раскаленного пепла, выбросы сероводорода при бурении скважин на газ - конденсат). При хранении опасных веществ в специальных хранилищах также иногда происходит нарушение изолирующих оболочек с катастрофическими последствиями. Печальный пример из техногенной деятельности человека - челябинский выброс радиоактивных отходов в 1957 году из-за разрушения контейнеров - хранилищ. Изоляция применяется для временного хранения радиоактивных отходов; в будущем необходимо реализовать принцип многобарьерной защиты при их захоронении, одним из составных элементов этой защиты будет слой изоляции.

б) Рассеяние - разбавление вредных веществ до уровня, безопасного для биосферы. В природе действует закон всеобщего рассеяния элементов В.И.Вернадского. Как правило, чем меньше кларк, тем опаснее для жизни элемент или его соединения (рений, свинец, кадмий). Чем больше кларк элемента, тем он безопаснее - биосфера к нему "привыкла". Принцип рассеяния широко используется при сбросе техногенных вредных веществ в реки, озера, моря и океаны, а также в атмосферу - через дымовые трубы. Рассеяние использовать можно, но видимо, только для тех соединений, время жизни которых в природных условиях невелико, и которые не смогут дать вредных продуктов распада. Кроме того, их не должно быть много. Так, например, СО2 - вообще говоря, не вредное, а иногда даже полезное соединение. Однако, возрастание концентрации углекислоты во всей атмосфере ведет к парниковому эффекту и тепловому загрязнению. Особенно страшную опасность могут представлять вещества (например, плутоний), получаемые искусственно в больших количествах. Рассеяние до сих пор применяется для удаления отходов малой активности и, исходя из экономической целесообразности, будет еще долго оставаться одним из методов для их обезвреживания. Однако в целом в настоящее время возможности рассеивания в основном исчерпаны и надо искать другие принципы.

в) Существование вредных веществ в природе в химически устойчивых формах. Минералы в земной коре сохраняются сотни миллионов лет. Распространенные акцессорные минералы (циркон, сфен и другие титано- и цирконосиликаты, апатит, монацит и другие фосфаты и т.д.) обладают большой изоморфной емкостью по отношению к многим тяжелым и радиоактивным элементам и устойчивы практически во всем интервале условий петрогенезиса. Имеются данные о том, что цирконы из россыпей, испытавшие вместе с вмещающей породой процессы высокотемпературного метаморфизма и даже гранитообразования, сохраняли свой первичный состав.

г) Минералы, в кристаллических решетках которых находятся подлежащие обезвреживанию элементы, в природных условиях находятся в равновесии с окружающей средой. Реконструкция условий древних процессов, метаморфизма и магматизма, имевших место много миллионов лет назад, возможна благодаря тому, что в кристаллических горных породах на протяжении длительного по геологическим масштабам времени сохраняются особенности состава образовавшихся при этих условиях и находившихся между собой в термодинамическом равновесии минералов.

Описанные выше принципы (особенно последние два) находят применение при обезвреживании радиоактивных отходов.

Существующие разработки МАГАТЭ рекомендуют захоронение отвержденных радиоактивных отходов в стабильных блоках земной коры. Матрицы должны минимально взаимодействовать с вмещающей породой и не растворяться в поровых и трещинных растворах. Требования, которым должны удовлетворять матричные материалы для связывания осколочных радионуклидов и малых актинидов, можно сформулировать следующим образом:

* Способность матрицы связывать и удерживать в виде твердых растворов возможно большее число радионуклидов и продуктов их распада в течение длительного (по геологическим масштабам) времени.
* Быть устойчивым материалом по отношению к процессам физико-химического выветривания в условиях захоронения (длительного хранения).
* Обладать термической устойчивостью при высоких содержаниях радионуклидов.
* Обладать комплексом физико-механических свойств, которые необходимо иметь любому матричному материалу для обеспечения процессов транспортировки, захоронения и пр.:
	+ механической прочностью,
	+ высокой теплопроводностью,
	+ малыми коэффициентами теплового расширения,
	+ устойчивостью к радиационным повреждениям.
* Иметь простую технологическую схему производства
* Производиться из исходного сырья, сравнительно низкой стоимости.

Современные матричные материалы подразделяются по своему фазовому состоянию на стеклообразные (боросиликатные и алюмофосфатные стекла) и кристаллические - как полиминеральные (синроки) так и мономинеральные (цирконий-фосфаты, титанаты, цирконаты, алюмосиликаты и т.п.).

Традиционно для иммобилизации радионуклидов применяли стекольные матрицы (боросиликатные и алюмофосфатные по составу). Эти стекла по своим свойствам близки к алюмосиликатным, только в первом случае алюминий заменен бором, а во втором - кремний фосфором. Эти замены вызваны необходимостью снижения температуры плавления расплавов и уменьшения энергоемкости технологии. В стекольных матрицах достаточно надежно удерживается 10-13мас.% элементов радиоактивных отходов. В конце 70-х годов были разработаны первые кристаллические матричные материалы - синтетические горные породы (синрок). Эти материалы состоят из смеси минералов - твердых растворов на основе титанатов и цирконатов и гораздо более устойчивы к процессам выщелачивания, чем стекольные матрицы. Стоит отметить, что наилучшие матричные материалы - синроки - были предложены петрологами (Рингвуд и др.). Способы остекловывания радиоактивных отходов, используемые в странах с развитой ядерной энергетикой (США, Франция, Германия), не отвечают требованиям их длительного безопасного хранения в связи со спецификой стекла как метастабильной фазы. Как показали исследования, даже наиболее устойчивые к процессам физико-химического выветривания алюмофосфатные стекла, оказываются малостабильными при условиях захоронения в земной коре. Что же касается боросиликатных стекол, то согласно экспериментальным исследованиям, в гидротермальных условиях при 350оС и 1 кбар они полностью кристаллизуются с выносом элементов радиоактивных отходов в раствор. Тем не менее, стеклование радиоактивных отходов с последующим хранением стекольных матриц в специальных хранилищах является пока единственным методом промышленного обезвреживания радионуклидов.

Рассмотрим свойства имеющихся матричных материалов. В таблице 4 представлена их краткая характеристика.

Таблица 4. Сравнительные характеристики матричных материалов

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Свойства  | (B,Si)-стекла  | (Al,P)-стекла  | Синрок  | NZP1)  | Глины  | Цео-литы  |
| Способность фиксировать РН2) и продукты их распада  | +  | +  | +  | +  | -  | +  |
| Устойчивость к выщелачиванию  | +  | +  | ++  | ++  | -  | -  |
| Термоустойчивость  | +  | +  | ++  | ++  | -  | -  |
| Механическая прочность  | +  | +  | ++  | ?  | -  | +  |
| Стойкость к радиационным повреждениям  | ++  | ++  | +  | +  | +  | +  |
| Устойчивость при размещении в породах земной коры  | -  | -  | ++  | ?  | +  | -  |
| Технология производства 3)  | +  | -  | -  | ?  | +  | +  |
| Стоимость исходного сырья 4)  | +  | +  | -  | -  | ++  | ++  |

Характеристики свойств матричных материалов: “++” - очень хорошие; “+” - хорошие; “-” - плохие.

1) NZP - фазы фосфатов циркония с общей формулой (IAxIIByIIIRzIVMvVCw)(PO4)m; где IAx ..... VCw - элементы I-V групп таблицы Менделеева;

2) РН - радионуклиды;

3) Технология производства: “+” - простая; “-” - сложная;

4) Исходное сырье: “++” - дешевое; “+” - среднее; “-” - дорогое.

Из анализа таблицы следует, что матричных материалов, удовлетворяющих всем сформулированным требованиям нет. Стекла и кристаллические матрицы (синрок и, возможно, насикон) являются наиболее приемлемыми по комплексу физико-химических и механических свойств, однако, высокая стоимость как производства, так и исходных материалов, относительная сложность технологической схемы ограничивают возможности широкого применения синрока для фиксации радионуклидов. Кроме того, как уже говорилось, устойчивость стекол недостаточна для захоронения в условиях земной коры без создания дополнительных защитных барьеров.

Усилия петрологов и геохимиков - экспериментаторов сосредоточены на проблемах, связанных с поиском новых модификаций кристаллических матричных материалов, более пригодных для захоронения радиоактивных отходов в породах земной коры.

Прежде всего, в качестве потенциальных матриц - фиксаторов радиоактивных отходов были выдвинуты твердые растворы минералов. Идея о целесообразности применения твердых растворов минералов в качестве матриц для фиксации элементов радиоактивных отходов была подтверждена результатами широкого петролого - геохимического анализа геологических объектов. Известно, что изоморфные замещения в минералах осуществляются, главным образом, по группам элементов таблицы Д.И.Менделеева:

в полевых шпатах: Na K Rb; Ca Sr Ba; Na Ca (Sr, Ba);

в оливинах: Mn Fe Co;

в фосфатах: Y La...Lu и т.п.

Задача состоит в том, чтобы среди природных минералов с высокой изоморфной емкостью подобрать твердые растворы, которые способны

концентрировать в себе указанные выше группы элементов радиоактивных отходов. В таблице 5 показаны некоторые минералы - потенциальные матрицы для размещения в них радионуклидов. В качестве матричных могут применяться как главные, так и акцессорные минералы.

Таблица 5. Минералы - потенциальные концентраторы элементов радиоактивных отходов.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Минерал  | Формула минерала  | Элементы РАО, изоморфно фиксируемые в минералах  |
| Главные породообразующие минералы  |
| Полевой шпат  | (Na,K,Ca)(Al,Si)4O8  | Ge, Rb, Sr, Ag, Cs, Ba, La...Eu, Tl  |
| Нефелин  | (Na,K)AlSiO4  | Na, K, Rb, Cs, Ge  |
| Содалит  | Na8Al6Si6O24Cl2  | Na, K, Rb, Cs?, Ge, Br, I, Mo  |
| Оливин  | (Fe,Mg)2SiO4  | Fe, Co, Ni, Ge  |
| Пироксен  | (Fe,Mg)2Si2O6  | Na, Al, Ti, Cr, Fe, Ni  |
| Цеолиты  | (Na,Ca)[(Al,Si)nOm]k\*xH2O  | Co, Ni, Rb, Sr, Cs, Ba  |
| Акцессорные минералы  |
| Перовскит  | (Ce,Na,Ca)2(Ti,Nb)2O6  | Sr, Y, Zr, Ba, La...Dy, Th, U  |
| Апатит  | (Ca,REE)5(PO4)3(F,OH)  | Y, La....Dy, I(?)  |
| Монацит  | (REE)PO4  | Y, La...Dy, Th  |
| Сфен  | (Ca,REE)TiSiO5  | Mn,Fe,Co?,Ni,Sr,Y,Zr,Ba,La...Dy  |
| Цирконолит  | CaZrTi2O7  | Sr, Y, Zr, La...Dy, Zr, Th, U  |
| Циркон  | ZrSiO4  | Y, La...Dy, Zr, Th, U  |

Список минералов таблицы 5 может быть существенно дополнен. По соответствию геохимических спектров для иммобилизации радионуклидов наиболее подходят такие минералы, как апатит и сфен, а вот в циркон концентрируются в основном тяжелые редкоземельные элементы.

Для реализации принципа "подобное хранить в подобном" удобнее всего использовать минералы. Щелочные и щелочноземельные элементы можно размещать в минералах группы каркасных алюмосиликатов, а радионуклиды группы редкоземельных элементов и актинидов - в акцессорных минералах.

Указанные минералы распространены в различных типах магматических и метаморфических пород. Поэтому сейчас можно решать конкретную задачу о выборе минералов - концентраторов элементов, специфичных к породам уже имеющихся полигонов, предназначенных для захоронения радиоактивных отходов. Так, например, для полигонов комбината "Маяк" (вулканогенно-осадочные толщи, порфириты) в качестве матричных материалов можно использовать полевые шпаты, пироксены и акцессорные минералы (циркон, сфен, фосфаты и др.).

Для создания и прогноза поведения минеральных матричных материалов в условиях длительного нахождения в породах необходимо уметь рассчитывать реакции в системе матрица - раствор - вмещающая порода, для чего необходимо знать их термодинамические свойства. В породах почти все минералы являются твердыми растворами, среди них наиболее распространены каркасные алюмосиликаты. Они слагают около 60% объема земной коры, всегда привлекали внимание и служили объектами изучения для геохимиков и петрологов.

Надежной основой термодинамических моделей может служить только экспериментальное изучение равновесий минералов - твердых растворов.

Оценка устойчивости матриц для размещения радиоактивных отходов к выщелачиванию также представляет собой работу, которую квалифицированно выполняют экспериментаторы петрологи и геохимики. Существует методика теста МАГАТЭ МСС-1 при 90оС, в дистиллированной воде. Определенные по ней скорости выщелачивания минеральных матриц с увеличением продолжительности опытов снижаются (в отличие от стекольных матриц, в которых наблюдается постоянство скоростей выщелачивания). Это объясняется тем, что в минералах, после выноса элементов с поверхности образца, скорости выщелачивания определяются внутрикристаллической диффузией элементов, которая очень низка при 90оС. Поэтому происходит резкое снижение скоростей выщелачивания. Стекла же при воздействии воды непрерывно перерабатываются, кристаллизуются, и поэтому зона переработки смещается в глубину.

Данные опытов показали, что скорости выщелачивания элементов из минералов различаются. Процессы выщелачивания, как правило, идут инконгруэнтно. Если рассматривать предельные, самые низкие скорости выщелачивания (достигаемые за 50 - 78 суток), то по увеличению скорости выщелачивания различных оксидов намечается ряд: Al  Na (Ca) Si.

Скорости выщелачивания для отдельных оксидов возрастают в следующих рядах минералов:

для SiО2: ортоклаз скаполит нефелинлабрадор содалит

0,008 0,140 (г/м2× сут)

для Na2О:лабрадор скаполит нефелин содалит;

0,004 0,110 (г/м2× сут) для CaО:апатит скаполит лабрадор;

0,0060,013 (г/м2× сут)

Кальций и натрий занимают в минералах те же кристаллохимические позиции, что и стронций и цезий, поэтому в первом приближении можно считать, что и скорости выщелачивания их будут сходны и близки к таковым из синрока. В этом отношении каркасные алюмосиликаты являются перспективными матричными материалами для связывания радионуклидов, поскольку скорости выщелачивания из них Cs и Sr на 2 порядка меньше, чем для боросиликатных стекол и сравнимы со скоростями выщелачивания для синрока-C, который в настоящее время является наиболее устойчивым матричным материалом.

Прямой синтез алюмосиликатов, особенно из смесей, содержащих радиоактивные изотопы, требует такой же сложной и дорогостоящей технологии, как и приготовление синрока. Следующей ступенью стала разработка и синтез керамических матриц методом сорбции радионуклидов на цеолиты с последующим превращением их в полевые шпаты.

Известно, что некоторые природные и синтетические цеолиты обладают высокой селективностью по отношению к Sr, Cs. Однако, как легко они сорбируют эти элементы из растворов, так же легко и отдают. Проблема состоит в том, как удержать сорбированные Sr и Сs. Некоторые из этих цеолитов полностью (за вычетом воды) изохимичны полевым шпатам, более того, процесс ионообменной сорбции дает возможность получать цеолиты заданного состава, причем процесс этот относительно легко контролируется и управляется.

Использование фазовых трансформаций имеет следующие преимущества перед другими методами отверждения радиоактивных отходов:

* возможность переработки растворов осколочных радионуклидов различной концентрации и соотношения элементов;
* возможность постоянного контроля процесса сорбции и насыщения цеолитового сорбента элементами радиоактивных отходов в соответствии с соотношением Al / Si в цеолите;
* ионный обмен на цеолитах хорошо технологически отработан и широко применяется в промышленности для очистки жидких отходов, что подразумевает хорошее технологическое знание основ процесса;
* твердые растворы полевых шпатов и фельдшпатоидов, получаемые в процессе керамизации цеолитов, не требовательны к строгому соблюдению Al/Si соотношения в исходном сырье, и результирующий матричный материал соответствует принципу фазового и химического соответствия для минеральных ассоциаций магматических и метаморфических пород земной коры;
* относительно простая технологическая схема производства матриц за счет исключения стадии кальцинации;
* легкость подготовки исходного сырья (природных и искусственных цеолитов) для использования в качестве сорбентов;
* дешевизна природных и синтетических цеолитов, возможность использования отработанных цеолитов.

Данный метод может быть использован для очистки водных растворов, содержащих также радионуклиды цезия. Превращения цеолита в полевошпатовую керамику позволяет в соответствии с концепцией фазового и химического соответствия размещать полевошпатовую керамику в породах, в которых полевые шпаты являются главными породообразующими минералами; соответственно выщелачивание стронция и цезия будет сведено к минимуму. Именно такие породы (вулканогенно-осадочного комплекса) расположены в районах полигонов предполагаемого захоронения радиоактивных отходов на предприятии "Маяк".

Для редкоземельных элементов перспективен цирконий-фосфатный сорбент, при трансформации которого образуется керамика, содержащая цирконий-фосфаты редких земель (так называемые фазы NZP) - являющиеся очень стабильными к выщелачиванию и устойчивыми в земной коре фазами. Скорости выщелачивания редкоземельных элементов из такой керамики на порядок ниже, чем из синрока.

Для иммобилизации иода методом сорбции его на цеолиты NaX и СuX получена керамика, содержащая фазы иод-содалита и CuI. Скорости выщелачивания иода из данных керамических материалов сопоставимы с таковыми щелочных и щелочноземельных элементов из боросиликатных стекольных матриц.

Перспективным направлением является создание двуслойных матриц, основанных на фазовом соответствии минералов различного состава в субсолидусной области. Кварц, так же как и полевые шпаты, является породообразующим минералом многих типов горных пород. Специальные опыты показали, что равновесная концентрация стронция в растворе (при 250оС и давлении насыщенного пара) снижается в 6 -10 раз при добавлении кварца в систему. Поэтому подобные двуслойные материалы должны существенно повышать устойчивость матриц к процессам выщелачивания твердых растворов.

. При низких температурах здесь существует обширная область несмесимости. Напрашивается создание двуслойной матрицы с зерном цезиевого кальсилита в центре, покрытым слоем обычного кальсилита. Таким образом, ядро и оболочка будут равновесны друг с другом, что должно минимизировать процессы диффузии цезия наружу. Сам кальсилит устойчив в щелочных магматических породах калиевого ряда, в которых и можно будет размещать (в соответствии с принципом фазового и химического соответствия) подобные "идеальные" матрицы. Синтез этих матриц также проводится методом сорбции с последующей фазовой трансформацией. Все вышеизложенное показывает один из примеров приложения результатов фундаментальных научных исследований к решению практических задач, периодически возникающих перед человечеством.[3]

###

### 3.1.1 Основные типы и физико-химические особенности горных пород для захоронения ядерных отходов.

Международные исследования в нашей стране и за рубежом показали, что вместилищами РАО могут служить три типа горных пород глины (аллювий), скальные породы (гранит, базальт, порфирит), каменная соль.Все эти породы в геологических формациях имеют широкое распространение, достаточную площадь и мощность слоев или магматических тел.

**Каменная соль.**

Пласты каменной соли могут служить объектом для строительства глубинных пунктов захоронения даже высокоактивных РАО и РАО с долгоживущими радионуклидами. Особенностью соляных массивов является отсутствие в них мигрирующих вод (иначе массив не мог бы существовать 200—400 млн лет), почти нет включений жидкости или газообразующих примесей, они пластичны, и нарушения структуры в них могут самозалечиваться, обладают высокой теплопроводностью, так что в них можно помещать РАО более высокой активности, чем в другие породы. Кроме того, создание в каменной соли горных выработок, относительно легко и недорого. При этом в настоящее время, во многих странах уже существуют десятки и сотни километров таких выработок. Поэтому, для неупорядоченного складирования любых отходов могут быть использованы полости среднего и большого объема (10— 300 тыс. м3) в пластах каменной соли, созданные в основном размывом или ядерными взрывами. При хранении отходов низкой и средней активности температура у стенки полости не должна превышать геотермальную более чем на 50°, так как при этом не будут происходить испарение воды и разложение минералов. Напротив, выделение тепла высокоактивными отходами приводит к плавлению соли и застыванию расплава, фиксирующего радионуклиды. Для захоронения всех видов РАО в каменной соли можно использовать не очень глубокие шахты и штольни, при этом средне- и низкоактивные отходы в подземные камеры можно засыпать навалом или складывать в бочках или канистрах. Однако, в каменной соли в присутствии влаги коррозия металлических контейнеров идет достаточно интенсивно, что затрудняет применение технических барьеров при захоронении РАО на длительный срок в соляных массивах.

Преимуществом солей является высокая теплопроводность, в связи с чем при прочих равных условиях температура в соляных могильниках будет ниже, чем в хранилищах, расположенных в другой среде.

Недостатком солей является их относительно высокая текучесть, которая еще более возрастает в связи с тепловыделением ВАО. С течением времени подземные выработки заполняются солью. Поэтому отходы становятся недоступными, а их извлечение для переработки или перезахоронения трудно осуществимым. Вместе с тем переработка и практическое использование ВАО в перспективе может оказаться экономически эффективным. Особенно это касается отработанного ядерного топлива, содержащего значительное количество урана и плутония.

Присутствие в солях глинистых слоев различной мощности резко ограничивает миграцию радионуклидов за пределы естественных барьеров. Как показали специально проведенные исследования глинистые минералы в этих породах образуют тонкие горизонтальные слои или располагаются в виде мелких линз и оторочек на границах зерен галита. Приведенный в контакт с породой рассол с Cs за 4 месяца проникал в глубь образца только до ближайшего глинистого слоя. При этом, миграцию радио­нуклидов затрудняют не только четко выраженные слои глин, по и менее контрастные выделения глинистых оторочек вокруг отдельных зерен галита .[4]

Таким образом, естественная природная композиция галит-глины обладает лучшими изоляционными и экранирующими свойствами по сравнению с чистыми галитовыми породами или галитом с примесью ангидрита. Наряду со свойством физического гидроизолирующего барьера, глинистые минералы обладают высокими сорбционными свойствами. Следовательно, в случае разгерметизации хранилища и попадания в него пластовых вод галит-глинистая формация ограничит и удержит миграционноспособные формы основных захороненных радионуклидов. Кроме того, остающаяся на дне емкости после размыва глина является дополнительным сорбционным барьером, который способен удержать в пределах хранилища цезий и кобальт в случае их перехода в жидкую фазу (аварийная ситуация) .[4]

**Глины.**

Глины более пригодны для устройства приповерхностных хранилищ или пунктов захоронения НАО и САО со сравнительно короткоживущими радионуклидами. Однако, в некоторых странах планируется размещение в них и ВАО. Преимуществами глин являются низкая водопроницаемость и высокая сорбционная емкость в отношении радионуклидов. Недостатком является высокая стоимость проходки горных выработок в связи с необходимостью их крепления, а также пониженная теплопроводность. При температуре выше 100°С начинается дегидратация глинистых минералов с потерей сорбирующих свойств и пластичности, образованием трещин и другими отрицательными последствиями. [1]

**Скальные горные породы.**

Этим термином охватывается широкий спектр пород, целиком состоящих из кристаллов. Сюда относят все полнокристаллические изверженные породы, кристаллические сланцы и гнейсы, а также стекловатые вулканические породы. Хотя соли или мраморы являются полнокристаллическими породами, в это понятие их не включают.

Достоинством кристаллических пород является их высокая прочность, устойчивость к воздействию умеренных температур, повышенная теплопроводность. Горные выработки в кристаллических породах могут сохранять свою устойчивость в течение практически неограниченного времени. Подземные воды в кристаллических породах обычно имеют низкую концентрацию солей, слабощелочной восстановительный характер, что в целом отвечает условиям минимальной растворимости радионуклидов. При выборе места в кристаллическом массиве для размещения ВАО используются блоки с наиболее высокими прочностными характеристиками слагающих пород и низкой трещиноватостью.

Физико-химические процессы, происходящие в системе ВАО — горная порода — подземные воды, могут способствовать как повышению, так и понижению надежности могильника. Размещение ВАО в подземных горных выработках вызывает прогрев вмещающих пород с нарушением физико-химического равновесия. В результате вблизи контейнеров с ВАО начинается циркуляция нагретых растворов, что приводит к минералообразованию в окружающем пространстве. В качестве благоприятных можно считать такие породы, которые в результате взаимодействия с нагретыми трещинными водами будут понижать свою водопроницаемость и повышать сорбционные свойства.

Наиболее благоприятными для могильников являются породы, в которых реакции минералообразования сопровождаются закупоркой трещин и пор Термодинамические расчеты и природные наблюдения показывают, что чем выше основность пород, тем в большей мере они соответствуют указанным требованиям . Так, гидратация дунитов сопровождается приращением объема новообразованных фаз на 47%, габбро— 16, диорита—8, гранодиорита— 1%, а гидратация гранитов вообще не приводит к самозалечиванию трещин. В пределах значений температур, соответствующих условиям могильника, реакции гидратации будут протекать с образованием таких минералов, как хлорит, серпентин, тальк, гидрослюды, монтмориллонит, разнообразные смешанослойные фазы. Характеризуясь высокими сорбционными свойствами, эти минералы будут препятствовать распространению радионуклидов за пределы могильника.

Таким образом, изоляционные свойства пород повышенной основности под воздействием ВАО будут возрастать, что позволяет рассматривать эти породы как предпочтительные для строительства могильника . К ним можно отнести перидотиты, габбро, базальты, кристаллические сланцы повышенной основности, амфиболиты и др.

**Некоторые физико-химические свойства горных пород и минералов, важные для захоронения РАО.**

Изучение радиационной и термическая устойчивости горных пород и минералов показало, что взаимодействие излучения с горной породой сопровождается ослаблением потока излучения и появлением радиационных дефектов в структуре, приводящее к накоплению энергии в облученном материале, локальному повышению температуры. Эти процессы могут изменить первоначальные свойства вмещающих отходы пород, обуславливать фазовые переходы, приводить к газообразованию и влиять на целостность стенок хранилища.

Для кислых алюмосиликатных пород, содержащих кварц и полевые шпаты в пределах поглощенных доз 106—108 Гр минералы не меняют своей структуры. Для аморфизации поверхности алюмосиликатов и ее оплавления требуются радиационные нагрузки: дозы до 1012 Гр и одновременное термическое воздействие 673 К. При этом происходит частичная потеря плотности материалов и разупорядочение в расположении алюминия в кремнекислородных тетраэдрах . При облучении глинистых минералов на их поверхности появляется сорбированная вода. Поэтому для глинистых пород большое значение при облучении имеет радиолиз воды как на внешней поверхности, так и в межслоевых промежутках.

Однако, радиационные эффекты при захоронении даже высокоактивных отходов имеют, по-видимому, не столь большое значение, так как даже γ -излучение в основном поглощается в матрице РАО, и лишь небольшая его доля проникает в окружающую породу на расстояние около метра. Влияние излучения ослабляется и тем, что в этих же пределах имеет место наибольшее термическое воздействие, вызывающее «отжиг» радиационных дефектов.

При использовании алюмосиликатных пород для размещения хранилища отходов положительно проявляются их сорбционные свойства, возрастающие под действием ионизирующего излучения.

В Европе и Канаде при планировании хранилищ предусмотрена предельная температура в 100° С и даже ниже, в США этот показатель равен 250° С. Некоторые авторы полагают, что нецелесообразно допускать подъем температу­ры хранилища выше 3030К, поскольку удаление сорбированнои поды может привести к нарушению целостности пород, появлению трещин и т.д. Однако другие считают, что для исключения поверхностного накопления пленок воды наиболее рациональной в хранилище следует считать температуру не ниже 313—3230К. так как при этом будет оптимальным радиационное газообразование с выделени­ем водорода.

Поскольку, в любой геологической породе присутствует сорбированная вода, именно она выступает в качестве первого выщелачивающего агента. Любая глинистая порода содержит значительное количество воды (до 12 %), которая в условиях повышенных температур, характерных для могильников радиоактивных отходов, будет выделяться в отдельную фазу и выступать в качестве первого выщелачивающего агента. Таким образом, создание глинистых барьеров в могильниках повлечет за собой процессы выщелачивания при любом варианте эксплуатации, включая условно сухой.[1]

###  3.1.2 Выбор места захоронения радиоактивных отходов.

Выбор места (площадки) для захоронения или хранения радиоактивных отходов, зависит от ряда факторов: экономических, правовых, социально-политических и природных. Особая роль отводится геологической среде — последнему и важнейшему барьеру защиты биосферы от радиационно опасных объектов.[5-7]

Пункт захоронения должен быть окружен зоной отчуждения, в которой допускается появление радионуклидов, но за ее границами активность никогда не достигает опасного уровня. Посторонние объекты могут быть расположены не ближе, чем на расстоянии 3 радиусов зоны от пункта захоронения. На поверхности эта зона носит название санитарно-защитной, а под землей представляет собой отчужденный блок горного массива.

Отчужденный блок необходимо изъять из сферы человеческой деятельности на период распада всех радионуклидов, поэтому он должен располагаться за пределами месторождений полезных ископаемых, а также вне зоны активного водообмена. Проводимые при подготовке к захоронению отходов инженерные мероприятия должны обеспечить необходимый объем и плотность размещения РАО, действие систем безопасности и надзора, а том числе долговременный контроль за температурой, давлением и активностью в пункте захоронения и отчуждаемом блоке, а также за миграцией радиоактивных веществ по горному массиву.

С позиций современной науки, решение о конкретных свойствах геологической среды на участке хранилища должно быть оптимальным, то есть отвечающим всем поставленным целям, и прежде всего гарантирующим безопасность. Оно должно быть объективным, то есть защищаемым перед всеми заинтересованными сторонами. Такое решение должно быть доступным для понимания широкой общественности.

Решение должно предусмотреть степень риска при выборе территории для захоронения РАО, а также опасность возникновения различных чрезвычайных ситуаций. При оценке геологических источников риска загрязнения окружающей среды необходимо учитывать физические (механические, тепловые), фильтрационные и сорбционные свойства горных пород; тектоническую обстановку, общую сейсмическую опасность, новейшую активность разломов, скорость вертикальных движений блоков земной коры; интенсивность изменения геоморфологических характеристик: водообильность среды, активность динамики подземныhttp://zab.chita.ru/admin/pictures/426.jpgх вод, включая влияние глобального изменения климата, подвижности радионуклидов в подземных водах; особенности степени изоляции от поверхности водонепроницаемыми экранами и образования каналов гидравлической связи подземных и поверхностных вод; наличие ценных ресурсов и перспектив их обнаружения. Эти геологические условия, определяющие пригодность территории для устройства хранилища, должны оцениваться независимо, по представительному параметру для всех источников риска. Они должны обеспечить оценку по совокупности частных критериев, связанных с горными породами, гидрогеологическими условиями, геологическими, тектоническими и минеральными ресурсами. Это позволит экспертам дать корректную оценку пригодности геологической среды. При этом неопределенность, связанная с узостью информационной базы, а также и с субъективизмом экспертов, может быть уменьшена применением оценочных шкал, ранжированием признаков, единой формой опросных листов, компьютерной обработкой результатов экспертизы. Сведения о типе, количестве, ближайшей и долгосрочной динамике поступления ОЯТ предоставят возможность выполнить районирование территории области, чтобы оценить пригодность участков для размещения хранилища, устройства (использование) коммуникаций, развития инфраструктуры и прочих смежных, но не менее важных проблем.

**3.2 Глубокое геологическое захоронение РАО .**

Продолжительный масштаб времени, в течение которого некоторые из отходов остаются радиоактивными, привел к идее глубокого геологического захоронения в подземных хранилищах в устойчивых геологических формациях. Изоляция обеспечивается комбинацией инженерных и естественных барьеров (горная порода, соль, глина), при этом никаких обязательств по  активному обслуживанию такого захоронения не передается будущим поколениям. Этот метод часто называют  многобарьерной концепцией с учетом того, что упаковка отходов, инженерное оборудование хранилища и сама геологическая среда – все это обеспечивает барьеры по предотвращению достижения радионуклидами людей и окружающей среды.

Хранилище включает в себя пройденные в горных породах туннели или пещеры, в которых размещаются упакованные отходы. В некоторых случаях (например, влажная горная порода) контейнеры с отходами затем окружаются материалом типа цемента или глины (обычно бентонит), чтобы обеспечить дополнительный барьер (называемым буфером или закладкой). Выбор материалов для контейнеров с отходами, а также проекта и материалов для буфера изменяется в зависимости от типа отходов, которые нужно сдерживать, и от характера пород, в которых закладывается это хранилище.

Ведение проходческих и земляных работ при сооружении глубокого подземного хранилища, использующих стандартную технологию горных работ или гражданского строительства, ограничено доступными для этого местами (например, под участком суши или под прибрежной зоной), блоками горной породы, являющиеся достаточно стабильными и не содержащими большого потока грунтовых вод, и глубинами между 250 и 1000 метрами. При глубине более 1000 метров, выемка грунта становится в большей степени технически трудной и, соответственно, более затратной.

Глубокое геологическое захоронение остается предпочтительным вариантом обращения с радиоактивными долгоживущими отходами во многих странах, включая Аргентину, Австралию, Бельгию, Чешскую Республику, Финляндию, Японию, Нидерланды, Республику Корея, Россию, Испанию, Швецию, Швейцарию и США. Таким образом,  достаточно доступной информации по различным концепциям захоронения; несколько примеров приводятся здесь. Единственное специально построенное глубокое геологическое хранилище для долгоживущих отходов среднего уровня активности , которое в настоящее время лицензировано для операций по захоронению, находится в США. Планы по захоронению отработавшего топлива хорошо проработаны в Финляндии, Швеции и США, причем ввод в эксплуатацию первого такого сооружения запланирован к  2010 году. Политика по глубокому захоронению в настоящее время рассматривается в Канаде и Великобритании.

## 3.3 Приповерхностное захоронение

МАГАТЭ определяет этот вариант как захоронение радиоактивных отходов с инженерными барьерами или без них в:

1. Приповерхностные захоронения на уровне земли. Эти захоронения находятся на или ниже поверхности, где толщина защитного покрытия составляет примерно несколько метров. Контейнеры с отходами размещаются в построенных камерах для хранения, и когда камеры заполняются, они забутовываются (засыпаются). В конечном счете, они будут закрыты и покрыты непроницаемой перегородкой и верхним слоем почвы. Эти захоронения могут включать некоторую форму дренажа и, возможно, газовую систему вентиляции.

2. Приповерхностные захоронения в пещерах ниже уровня земли. В отличие от приповерхностного захоронения на уровне земли, где выемка грунта проводится с поверхности, неглубокие захоронения требуют подземной выемки грунта, но захоронение располагается на глубине нескольких десятков метров ниже поверхности земли и доступно через слабонаклонную горную выработку.

Термин '"приповерхностное захоронение" замещает термины "поверхностное захоронение" и "захоронение в землю", но эти, более старые, термины все еще иногда используются, когда ссылаются на этот вариант.

На эти захоронения могут воздействовать долгосрочные изменения климата (например оледенение), и этот эффект должен приниматься во внимание при рассмотрении аспектов безопасности, так как такие изменения способны вызывать разрушение этих захоронений. Однако этот тип захоронения обычно используется для отходов низкого и среднего уровня активности, содержащих радионуклиды с коротким периодом полураспада (приблизительно до 30 лет).

**Приповерхностные захоронения на уровне земли**, находящиеся в настоящее время в эксплуатации:

Великобритания – Дригг в Уэльсе, управляется BNFL .

Испания – ЕльКабрил, управляется ENRESA.

Франция – Центр Аюбе, управляется Andra.

Япония – Роккасе Мура, управляется JNFL.

**Приповерхностные захоронения в пещерах ниже уровня земли**, находящиеся в настоящее время в эксплуатации:

Швеция - Форсмарк, где глубина захоронения составляет 50 метров под дном Балтийского моря.

Финляндия – атомные электростанции Олкилуото и Ловииса, где глубина каждого захоронения составляет около 100 метров.

## Плавление горной породы

Вариант плавления горной породы, расположенной глубоко под землей, предусматривает плавление отходов в смежной породе. Идея состоит в том, чтобы произвести устойчивую, твердую массу, которая включает в себя отходы, или внедрить отходы в разбавленной форме в породу (то есть рассредоточить по большому объему породы), которая не может легко выщелачиваться и переноситься обратно к поверхности. Этот метод предлагался, главным образом, для отходов, генерирующих тепло, например, остеклованных *,* и для пород с подходящими характеристиками по уменьшению потерь тепла.

Высоко активные отходы в жидкой или твердой форме могли бы помещаться в полость или глубокую буровую скважину. Выделяемая отходами теплота затем бы аккумулировалась, что в результате привело бы к достижению достаточно больших температур, для того чтобы расплавить окружающую породу и растворить радионуклиды в растущей толще расплавленного материала. Когда горная порода охладится, она кристаллизуется и станет матрицей для радиоактивных веществ, таким образом, рассеивая отходы по большому объему породы.

Просчитана разновидность этого варианта, при  котором тепло, генерируемое отходами, аккумулировалось бы в контейнерах, а порода плавилась бы вокруг контейнера. В качестве альтернативы, в случае, если бы отходы генерировали недостаточно тепла, отходы фиксировались бы в неподвижном состоянии в матрице породы обычным или ядерным взрывом.

Плавление горной породы нигде не было реализовано для удаления радиоактивных отходов. Не было никаких примеров практической демонстрации выполнимости этого варианта, кроме лабораторных исследований плавления горных пород. Ниже описываются некоторые примеры этого варианта и его вариаций.

В конце 1970-х и начале 1980-х годов вариант плавления породы на глубине был продвинут до стадии инженерного проектирования. Этот проект предусматривал прокладку шахты или буровой скважины, которые вели бы в полость на глубину 2,5 километра. Проект был подвергнут экспертизе, но не продемонстрировал, что отходы будут зафиксированы в неподвижном состоянии в объеме породы в  тысячу раз больше, чем первоначальный объем отходов.

Еще одним ранним предложением был проект теплостойких контейнеров с отходами, генерирующими тепло в таком количестве, что они смогли бы расплавить подстилающую породу, позволяя им двигаться вниз на большие глубины, причем расплавленная порода застывала бы над ними. Эта альтернатива имела сходство с подобными методами самозахоронения, предложенными для захоронения высокоактивных отходов в ледовых щитах.

В 1990-х годах возобновился интерес к этому варианту, особенно для удаления ограниченных объемов специализированных высоко активных отходов , особенно плутония, в России и в Великобритании. Была предложена схема, согласно которой содержание отходов в контейнере, композиция контейнера и план их размещения разрабатывались для сохранения контейнера и предотвращения того, чтобы отходы  встраивались в расплавленную породу. Вмещающая порода была бы расплавлена только частично, и контейнер не двигался бы на большие глубины.

Российские ученые предложили, чтобы высокоактивные отходы , особенно с избытком плутония, размещались бы в глубокой шахте и фиксировались бы в неподвижном состоянии ядерным взрывом. Однако большое возмущение массы породы и грунтовой воды при использовании ядерных взрывов, а также рассмотрение мер контроля над вооружениями, привели к общему отказу от этого варианта.[8]

## Прямое закачивание

Этот подход касается закачивания жидких радиоактивных отходов непосредственно в пласт горной породы глубоко под землей, который выбирается из-за своих подходящих характеристик по удержанию отходов (то есть минимизируется любое их дальнейшее движение после закачивания).

Для этого нужен ряд геологических предпосылок. Должен иметься пласт горной породы (пласт закачки) с достаточной пористостью, чтобы разместить отходы, и с достаточной проницаемостью, чтобы позволять легкое закачивание (то есть действовать подобно губке). Выше и ниже пласта закачки должны быть непроницаемые пласты, которые могли бы действовать как естественные затворы. Дополнительные выгоды могут  обеспечивать геологические характеристики, которые ограничивают горизонтальное или вертикальное перемещение. Например, закачивание в пласты горной породы, содержащей природную рапу грунтовой воды. Это связано с тем, что высокая плотность рапы (соленая вода) уменьшила бы возможность движения,  направленного вверх.

Прямое закачивание могло бы, в принципе, использоваться для любого типа радиоактивных отходов при условии, что они будут преобразованы в раствор или гидросмесь (очень мелких частиц в воде). Гидросмеси, содержащие цементный раствор, который отвердевает под землей,  также могут использоваться, чтобы минимизировать движение радиоактивных отходов. Прямое закачивание было реализовано в России и США, как описано ниже.

В 1957 году в России начались всесторонние геологические исследования  пластов, подходящих для закачки радиоактивных отходов. Были найдены три места, все в осадочных породах. В Красноярске-26 и Томске-7 закачивание проводилось в пористые слои песчаника, блокированные глинами, на глубинах до 400 метров. В Димитровграде  в настоящее время закачка остановлена, но она производилась там в песчаник и известняк на глубине 1400 метров. Всего было закачено несколько десятков миллионов кубических метров отходов низкой, средней и высокой активности.

В Соединенных Штатах прямое закачивание приблизительно 7 500 кубических метров малоактивных отходов в качестве цементных гидросмесей было предпринято в 1970-х годах на глубину около 300 метров. Оно производилось в течение 10 лет в Окриджской национальной лаборатории, штат Теннеси, и было оставлено из-за неопределенности по перемещению жидкого цементного раствора в окружающие горные породы (сланцы). Кроме того, схема, касающаяся закачивания отходов высокой активности в кристаллическую коренную породу ниже производственного комплекса Саванна Ривер в штате Южная Каролина в США, была застопорена прежде, чем была реализована, из-за беспокойства общественности.

Радиоактивные материалы, образуемые в качестве отходов деятельности  нефтегазовой промышленности, в общем, относятся к "природным радиоактивным материалам передовых технологий - TENORM". В Великобритании большая часть этих отходов освобождена от необходимости  захоронения, что санкционировалось Законом Великобритании 1993 года о радиоактивных веществах, из-за низкого уровня их радиоактивности. Однако некоторые такие отходы обладают более высокой активностью. В настоящее время имеется ограниченное число доступных путей их захоронения, включая путь обратной закачки назад в буровую скважину (то есть источник), который санкционирован Агентством по защите окружающей среды Великобритании. [8]

## Другие способы захоронения РАО

### Удаление в море

Удаление в море касается радиоактивных отходов, вывозимых на кораблях и сбрасываемых в море в упаковках, спроектированных:

- для того чтобы взорваться на глубине, в результате чего происходит непосредственный выброс и рассеивание радиоактивного материала в море, или

-  для погружения на морское дно и достижения его в неповрежденном виде.

Через какое-то время физическое сдерживание контейнеров перестанет действовать, и радиоактивные вещества будут рассеиваться и разбавляться в море. Дальнейшее разбавление приведет к тому, что радиоактивные вещества будут мигрировать от места сброса под действием течений.

Количество радиоактивных веществ, остающихся в морской воде, далее снижалось бы из-за естественного радиоактивного распада и перемещения радиоактивных веществ в отложения морского дна в процессе сорбции.

Метод удаления в море низко активных и средне активных отходов практиковался на протяжении некоторого времени. Был пройден путь  от общепринятого метода удаления, который был фактически реализован рядом стран, к методу, который теперь запрещается международными соглашениями. К странам, которые в то или другое время предпринимали сброс РАО в море, используя вышеупомянутые методы, относятся Бельгия, Франция, Федеративная Республика Германия, Италия, Нидерланды, Швеция и Швейцария, а также Япония, Южная Корея и США. Этот вариант не был реализован для отходов высокого уровня активности.

###

### 3.6.2 Удаление под морское дно

Вариант удаления предполагает захоронение под морским дном контейнеров с радиоактивными отходами в соответствующую геологическую среду ниже дна океана на большой глубине. Этот вариант был предложен для отходов низкого, среднего и высокого уровня активности. Вариации этого варианта включают:

-  хранилище, расположенное ниже морского дна. Хранилище было бы доступно с земли, с небольшого необитаемого острова или с сооружения, расположенного на некотором расстоянии от берега;

-  захоронение радиоактивных отходов в глубоких океанических осадках. Этот метод запрещен международными соглашениями.

Удаление под морское дно нигде не было реализовано и не разрешено международными соглашениями.

Удаление радиоактивных отходов в хранилище, созданное ниже морского дна, рассматривалось Швецией и Великобританией. Если бы концепция хранилища ниже морского дна была бы признана желательной, то проект такого хранилища мог бы быть разработан так, чтобы гарантировать возможность будущего возврата отходов. Контроль за отходами в таком хранилище был бы менее проблематичен, чем при других формах удаления в море.

В 1980-х годах  была исследована возможность удаления отходов высокого уровня активности в глубоких океанских отложениях, и официальный отчет был представлен Организацией экономического сотрудничества и развития. Для реализации этой концепции радиоактивные отходы планировалось упаковать в коррозионно стойкие контейнеры или стекло, которые помещались бы, по крайней мере, на 4000 метров ниже уровня воды в устойчивой глубокой геологии морского дна, выбранного как из-за медленного притока воды, так из-за способности задерживать перемещение радионуклидов. Радиоактивные вещества, пройдя через донные отложения, затем подверглись бы тем же самым процессам разбавления, дисперсии, диффузии и сорбции, которые воздействуют на радиоактивные отходы, удаленные в море. Этот метод удаления, следовательно, обеспечивает дополнительное сдерживание радионуклидов, если сравнивать с захоронениями радиоактивных отходов непосредственно на морском дне.

Захоронение радиоактивных отходов в глубоких океанских отложениях могло бы быть выполнено двумя различными методами: с помощью пенетраторов (устройств для проникновения внутрь отложений) или бурением скважин для мест размещения. Глубина захоронения контейнеров с отходами ниже морского дна может изменяться для каждого из двух методов. В случае использования пенетраторов контейнеры с отходами могли бы помещаться в отложения на глубину около 50 метров. Пенетраторы, весящие несколько тонн, погружались бы в воду, получая достаточный импульс, чтобы внедриться в отложения. Ключевой аспект захоронения радиоактивных отходов в отложения морского дна заключается в том, что отходы изолированы от морского дна толщиной отложений. В 1986 году некоторое доверие этому методу обеспечили эксперименты, предпринятые на глубине воды около 250 метров в Средиземном море.

Эксперименты  наглядно показали, что пути входа, созданные пенетраторами, были закрыты и вновь заполнены повторно взрыхленными отложениями примерно той же самой плотности, что и окружающие ненарушенные отложения.

Отходы также возможно помещать под морское дно с помощью бурового оборудования, которое используются на больших глубинах в течение приблизительно 30 лет. По этому методу упакованные отходы можно было бы помещать в скважины, просверленные на глубину 800 метров ниже морского дна, с расположением самого верхнего контейнера на глубине около 300 метров ниже морского дна.

### 3.6.3 Удаление в зоны подвижек

Зоны подвижек – это области, в которых одна более плотная плита земной коры перемещается ниже по направлению к другой, более легкой, плиты. Надвигание одной литосферной плиты на другую приводит к образованию разлома (желоба), возникающего на некотором расстоянии от морского берега, и вызывает землетрясения, происходящие в зоне наклонного контакта плит земной коры. Край доминирующей плиты сминается и вздымается, формируя цепь гор, параллельную разлому. Глубокие морские отложения соскабливаются с нисходящей плиты и встраиваются в смежные горы. Когда океанская плита опускается в горячую мантию, ее части могут начать плавиться. Так образуется магма, мигрирующая наверх, часть ее достигает поверхности земли в виде лавы, извергающейся из кратеров вулканов. Как показано на прилагаемой иллюстрации, идея для этого варианта состояла в том, чтобы захоранивать отходы в такой зоне разлома, чтобы потом они были увлекались вглубь земной коры.

Этот метод не разрешен международными соглашениями, так как он является формой захоронения в море.Хотя зоны подвижек плит имеются в ряде мест на поверхности Земли, географически число их очень ограничено. Никакая страна, производящая радиоактивные отходы, не вправе рассматривать вариант захоронения в глубокие морские желоба без поиска международно приемлемого решения этой проблемы. Впрочем, такой вариант не был нигде реализован, так как он является одной из форм захоронения РАО в море и поэтому не разрешен международными соглашениями. [8]

### 3.6.4 Захоронение в ледниковые щиты

При этом варианте захоронения контейнеры с отходами, испускающими тепло, размещались бы в стабильных ледниковых щитах, например, тех, что обнаружены в Гренландии и Антарктиде. Контейнеры расплавили бы окружающий лед и опустились бы глубоко в ледниковый щит, где лед смог бы рекристаллизоваться над отходами, создавая мощный барьер.

Хотя удаление в ледниковые щиты могло бы технически рассматриваться для всех типов радиоактивных отходов, оно было серьезно исследовано только для отходов высокого уровня активности , где выделяемая отходами тепло могло бы с выгодой использоваться для  самозахоронения отходов в толще льда благодаря его плавлению.

Вариант удаления в ледниковых щитах нигде не был реализован. Он был отвергнут странами, которые подписали Договор об Антарктиде или привержены идее обеспечения решения по обращению со своими радиоактивными отходами внутри своих национальных границ. Начиная с 1980 года не проводилось никаких серьезных экспертиз этого варианта.

###

### 3.6.5 Удаление в космическое пространство

Этот вариант ставит своей целью удаление радиоактивных отходов с Земли навсегда, выбрасывая их в космос. Очевидно, что отходы при этом должны упаковываться так, чтобы  оставаться неповрежденными при сценариях самых немыслимых аварий. Ракета или космический челнок могли бы использоваться для запуска упакованных отходов в космическое пространство. Рассматривалось несколько конечных пунктов назначения отправки отходов, включая направления их в сторону Солнца, сохранение на орбите вокруг Солнца между Землей и Венерой и выбросом отходов вообще за пределы солнечной системы. Это необходимо из-за того, что размещение отходов в космическом пространстве на околоземной орбите чревато возможным их возвращением  на Землю.

Высокая стоимость этого варианта означает, что такой метод удаления радиоактивных отходов мог бы быть подходящим для отходов высокого уровня активности или для отработанного топлива (то есть для долгоживущего высокорадиоактивного материала, который относительно мал по своему объему). Переработка отходов могла бы потребоваться, чтобы отделить наиболее радиоактивные материалы для удаления в космическое пространство и, следовательно, уменьшить объем транспортируемого груза.. Этот вариант не был реализован, и дальнейшие исследования не проводились из-за высокой стоимости и из-за аспектов безопасности, связанных с возможным риском неудачного запуска.

Наиболее детальные исследования этого варианта были выполнены в Соединенных Штатах NASA в конце 1970-х и начале 1980-х годов. В настоящее время  NASA. запускаются в космос только термические радиоизотопные генераторы (ТРГ), содержащие несколько килограмм Pu-238. [8]

# 4. Радиоактивные отходы и отработавшее ядерное топливо в атомной энергетике России.

Каково реальное положение с РАО атомных электростанций России? АЭС являются местами хранилищ радиоактивных отходов, возникающих помимо отработавшего топлива. На территории АЭС России хранится около 300 тыс. м3 РАО общей активностью порядка 50 тыс. кюри. Ни на одной атомной электростанции нет полного комплекта установок для кондиционирования РАО. Производится упаривание жидких РАО, а полученный концентрат хранится в металлических емкостях, в некоторых случаях предварительно отверждается методом битумирования. Твердые РАО помещаются в специальные хранилища без предварительной подготовки. Только на трех АЭС имеются установки прессования и на двух станциях — установки сжигания твердых РАО. Этих технических средств явно недостаточно с позиций современного подхода к обеспечению радиационной и экологической безопасности. Очень серьезные трудности возникли в связи с тем, что хранилища твердых и отвержденных отходов на многих российских АЭС переполнены. На большинстве АЭС нет полного комплекта технических средств, необходимых с позиций современного подхода к обеспечению радиационной и экологической безопасности. Атомная энергетика не может существовать иначе, как нарабатывая всё новые и новые количества искусственных радионуклидов, в том числе плутония, которых до начала 40-х годов прошлого века природа не знала и к которым не адаптирована.К настоящему времени в результате эксплуатации энергоблоков АЭС с реакторными установками ВВЭР и РБМК в хранилищах различного типа и принадлежности находится около 14 тыс. т отработавшего ядерного топлива, его суммарная радиоактивность 5 млрд Ки (34,5 Ки на каждого человека). Большая его часть (около 80%) хранится в приреакторных бассейнах выдержки и станционных хранилищах ОЯТ, остальное топливо - в централизованных хранилищах завода РТ-1 на ПО «Маяк» и на Горно-химическом комбинате (ГХК) под г. Красноярском (ОЯТ ВВЭР-1000). Ежегодный прирост ОЯТ составляет около 800 т (от реакторов ВВЭР-1000 ежегодно поступает 135 т ОЯТ).

Спецификой ОЯТ российских АЭС является его разнотипность как по физико-техническим параметрам, так и по массогабаритным характеристикам ТВС, что определяет различия в подходе к дальнейшему обращению с ОЯТ. Нерешенным элементом в этой схеме является создание производства смешанного уран-плутониевого топлива из регенерированного плутония, накопленного на заводе РТ-1 ПО «Маяк» в объеме -30 т.

Для реакторов типа ВВЭР-1000 и РБМК-1000 вынужденным решением (по ряду причин) является промежуточное перед началом переработки длительное хранение ОЯТ этих отходов не включается в стоимость конечного продукта – электроэнергии.

# 5. Проблемы системы обращения с РАО в России и возможные пути ее решения

##

## 5.1 Структура системы обращения с РАО в РФ

##  Проблема обращения с РАО является многогранной и сложной, носит комплексный характер. При ее решении необходимо учитывать различные факторы, в т.ч.возможное увеличение себестоимости продукции или услуг предприятий вследствие предъявления новых требований по хранению и обращению с РАО, применения специальных обязательных технологий обращения с РАО, многовариантности способов обращения с РАО в зависимости от их удельной активности, физико-химического состояния, радионуклидного состава, объемов, токсичности, и условий по безопасному хранению и захоронению. Анализ нормативной базы РФ, регламентирующей обращение с РАО на заключительном этапе ЯТЦ, – структуры нормативно-технической документации, соответствия требований к различным этапам обращения с РАО в документах различных уровней и т.д. показал, что в ней отсутствуют документы, определяющие:

## • основы государственной политики в сфере обращения с РАО, в которой были бы определены права собственности в сфере обращения с РАО и источники финансирования этой деятельности, а также ответственность предприятий – производителей РАО;

## • предельные объемы и сроки временного хранения различных РАО;

## • порядок согласования и принятия решений по размещению пунктов окончательной изоляции (захоронению) РАО;

## • методы оценки безопасности объектов окончательной изоляции и методы получения исходных данных для проведения таких оценок, а также целый ряд других важных моментов. [2]

## Кроме того, действующие документы содержат противоречия и также требуют доработки. Так, существующая классификация РАО (по уровню активности) не содержит указаний по требуемым срокам изоляции отходов от биосферы и, как следствие, способам их захоронения.

## Сегодняшняя ситуация с РАО характеризуется следующими цифрами. По данным системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и РАО по состоянию на 01.01.2004 в Российской Федерации их накоплено более 1.5 млрд.Ки (5.96Е+19Бк), из которых более 99% сосредоточено на предприятиях Росатома.

## Большинство отходов находится во временных хранилищах. Одной из важных причин накопления в пунктах хранения больших объемов радиоактивных отходов является существующий неэффективный подход к обращению с отходами. В настоящее время принято, что все образующиеся отходы следует хранить в течение 30-50 лет с возможностью продления срока хранения. Этот путь не ведет к окончательному безопасному решению проблемы и требует значительных затрат на эксплуатацию хранилищ без ясной перспективы ликвидации последних. При этом окончательное решение проблемы накопления РАО перекладывается на последующие поколения.

## Альтернативой является внедрение принципа окончательной изоляции РАО, при котором риски возникновения аварий и негативного воздействия РАО на человека и окружающую среду снижаются ориентировочно на 2-3 порядка. Следовательно, основным способом изоляции должно быть не длительное хранение, а окончательное захоронение отходов. Учитывая климатические условия России, подземная изоляция отходов более безопасна, чем приповерхностная.

## Сложившаяся обстановка осложняется применяющимся до недавнего времени на хранилищах предприятий – источников образования РАО, как правило, "навальным" размещением твердых радиоактивных отходов.

## Пункты хранения РАО создавались с учетом специфики работы предприятий и используемых технологий, вследствие чего практически отсутствуют типовые решения по изоляции отходов. Хранение твердых РАО осуществляется в хранилищах более 30 различных типов, представленных в основном специализированными зданиями или внутрипроизводственными помещениями, траншеями и бункерами, емкостями и открытыми площадками. Жидкие отходы размещены в хранилищах более 18 различных типов, в основном представленных отдельно стоящими емкостями, открытыми водоемами, пульпохранилищами и пр. Проектами хранилищ не предусматривались решения по выводу их из эксплуатации и последующей реабилитации территорий. Все это значительно затрудняет определение радионуклидного и химического состава хранящихся отходов и осложняет или зачастую делает невозможным их извлечение.

## В отрасли отсутствуют типовые решения переработки и подготовки РАО к захоронению. Технологии переработки и кондиционирования РАО, а соответственно и установки переработки, создавались с учетом специфики образующихся РАО на каждом предприятии и в большинстве своем не являются унифицированными и универсальными.

## Комплекс описанных проблем в сфере обращения с РАО обуславливает необходимость модернизации действующей системы.

## 5.2 Предложения по изменению доктрины обращения с РАО

Основы технической политики для эффективного решения проблемы окончательной изоляции имеющихся РАО в РФ можно сформулировать следующим образом:

• изменение существующего концептуального подхода к изоляции отходов. В проектах по обращению с РАО основным способом изоляции отходов должно быть не длительное хранение, а окончательное захоронение отходов без возможного извлечения;

• минимизация создания новых поверхностных и приповерхностных хранилищ РАО на предприятиях;

• использование территорий, прилегающих к предприятиям – источникам образования и накопления больших объемов отходов и имеющим опыт и лицензии по обращению с ними для создания новых региональных и локальных могильников РАО, по возможности, с максимальным использованием существующих подземных объектов, выводимых из эксплуатации;

• использование типовых технологий обращения с РАО для определенных видов отходов и типов хранилищ;

• разработка или модификация законодательной и нормативно технической документации для реализации захоронения всех видов РАО.[2]

# 6. Заключение

Таким образом можно сделать вывод о том, что наиболее реальным перспетивным способом утилизации радиоактивных отходов является их зохоронение геологической среде. Сложная экономическая ситуация в нашей стране не позволяет использовать альтернативные дорогостоящие способы захоронения в промышленных масштабах .

Поэтому важнейшей задачей геологических исследований будет исследование оптимальных геологических условий для безопасного захоронения РАО, возможно на территории конкретных предприятий атомной промышленности. Наиболее быстрым путем решения задачи является использование скважинных могильников, сооружение которых не требует больших капитальных затрат и позволяет начать захоронение ВАО в сравнительно небольших по размерам геологических блоках благоприятных пород.

Представляется актуальным создание научно-методического руководства по выбору геологической среды для захоронения ВАО и определение на территории России наиболее перспективных мест для сооружения могильников.

Весьма перспективным направлением геолого-минералогических исследований российских ученых может быть изучение изоляционных свойств геологической среды и сорбционных свойств природных минеральных смесей.

# 7. Список использованной литературы:

1. Беляев А.М. Радиоэкология
2. По материалам конференции «Безопасность ядерных технологий: экономика безопасности и обращение с ИИИ»
3. Кедровский О.Л., Шишиц Ю.И., Леонов Е.А., и др. Основные направления решения проблемы надежной изоляции радиоактивных отходов в СССР. // Атомная энергия, т. 64, вып.4. 1988, с. 287-294.
4. Бюллетень МАГАТЭ. Т. 42. №3. — Вена, 2000.
5. Кочкин Б.Т. Выбор геологических условий для захоронения высокорадиоактивных отходов // Дис. на соиск. д. г.-м. н. ИГЕМ РАН, М., 2002.
6. Лаверов Н.П., Омельяненко Б.И., Величкин В.И. Геологические аспекты проблемы захоронения радиоактивных отходов // Геоэкология. 1999. №6.