

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МЕТОД ЗАХОРОНЕНИЯ ДОЛГОЖИВУЩИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Семак Е.Ю.,

Научный руководитель канд. техн. наук Степанов А.Г.

Сибирский Федеральный Университет

В настоящее время в мире широко развивается атомная энергетика, что объясняется относительной экономичностью производимой электроэнергии, достаточным количеством топлива для данного метода производства и высокой экологичностью атомной электростанции. На сегодняшний день в России эксплуатируются 10 атомных электростанций (в общей сложности 32 энергоблока установленной мощностью 24,2 ГВт), которые вырабатывают около 16% всего производимого электричества.

Согласно Федеральной целевой программе, к 2025 году доля электроэнергии, выработанной на атомных электростанциях Российской Федерации, должна увеличиться с 16 до 25%. Будет построено 26 новых энергоблоков, введено в эксплуатацию 6 АЭС, две из которых — плавучие.

Однако, со строительством новых и поддержанием нормальной работы действующих АЭС, связана проблема утилизации радиоактивных отходов. Радиоактивные отходы (РАО) – это отходы, содержащие радиоактивные изотопы химических элементов и представляющие особую биологическую опасность. Сейчас эта проблема действительно является критической, так как по имеющимся оценкам, эксплуатация АЭС всего мира приведет к накоплению 200 тыс. тонн отработанного топлива уже в начале третьего тысячелетия, а к 2030 году этот объем возрастет до 500 тыс. тонн. Таким образом, остро встает вопрос о возможных методах утилизации отработанного ядерного топлива.

Над этой проблемой мировое научное сообщество задумывается уже не один десяток лет, и создано немало технологий, из которых на сегодняшний день используются наиболее экономичные и безопасные. Тем не менее, существует всего два основных способа обращения с радиоактивными отходами, это либо их захоронение, либо переработка. Переработанные ядерные отходы могут использоваться для создания ядерного оружия, которого в настоящий момент наработано уже достаточное количество, а значит, нет необходимости в его дополнительном производстве. Захоронение же радиоактивных долгоживущих отходов связано с высокой потенциальной опасностью заражения в случае непредвиденных обстоятельств, поэтому нахождение безопасных во всех отношениях мест для захоронения РАО представляет собой серьёзную задачу. В данной работе рассмотрены различные методы захоронения РАО, их достоинства недостатки, и обозначены наиболее перспективные направления в решении данной проблемы.

Методы обращения с РАО:

1. Поверхностное захоронение.

Хранение отходов в контейнерах на специально оборудованных площадках непосредственно на поверхности Земли, или на небольшой глубине. Применяется в настоящее время для отходов с периодом полураспада элементов не более 30 лет. Достаточно рискованный метод, так как при воздействии природных катаклизмов или существенного изменения климата может произойти разрушение контейнера, и, как следствие, загрязнение окружающей среды радионуклидами.

2. Удаление РАО в море.

Удаление на дно.

Упакованные РАО с кораблей опускают на морское дно, где впоследствии происходит разрушение упаковки и рассеивание радионуклидов в водной среде.

Удаление под морское дно.

Предполагается помещение РАО в контейнерах в геологические породы ниже уровня дна океана на большой глубине. Данный метод может осуществляться либо бурением скважин и помещением в них отходов, либо захоронением контейнеров с РАО под океаническими осадками, которые искусственно будут создаваться путём серии направленных взрывов.

Данные методы не могут быть реализованы в настоящее время, так как существует большая вероятность непредвиденных отрицательных воздействий на морскую среду. Известен также метод утилизации РАО путём помещения отходов в места разлома литосферных плит с последующим их увлечением вглубь земной коры. Наиболее подходящие места для такого варианта захоронения располагаются на дне океана. Однако, в настоящее время международные конвенции запрещают подобные способы захоронения радиоактивных отходов, поэтому они не могут рассматриваться в качестве оптимальных при решении проблемы захоронения РАО.

3. Удаление РАО в космос.

Метод предполагает навсегда удалить отходы с Земли. В настоящее время в США запускаются в космос радиоизотопные генераторы, содержащие несколько килограммов плутония-238. В больших масштабах метод не используется из-за своей высокой стоимости. Также существует опасность возвращения РАО на Землю, и вероятность аварийной ситуации на земле при неудачном запуске с неконтролируемым выбросом радиоактивных веществ и загрязнением больших территорий.

4. Глубокое геологическое захоронение РАО.

Существует множество вариантов осуществления данного метода, все они предполагают захоронение РАО навсегда, без активного обслуживания персонала и на длительный промежуток времени, а значит, не будет накладываться ответственность на будущие поколения.

Данный метод иногда называют многобарьерной концепцией, так как конденсирование отходов, их помещение в контейнеры и размещение на больших глубинах в геологической среде представляет собой совокупность барьеров, препятствующих достижению радионуклидов окружающей среды и людей.

Реализация данного метода проводится путем помещения РАО в пройденные туннели и пещеры в горных образованиях, затем окружением их цементом или глиной (бентонитом), называемых буфером или закладкой. Буфер создаёт дополнительный барьер от выброса радиоактивных веществ в окружающую среду. Места захоронения ограничиваются определёнными условиями, которые в обязательном порядке должны соблюдаться.

Так, горные породы, в которых предполагается создание хранилища, должны быть устойчивыми, стабильными, содержать минимальное количество потоков грунтовых вод, должны располагаться на глубине от 250 до 1000 метров. При достижении поставленных условий захоронение будет считаться относительно безопасным и экономически рентабельным.

Описанный выше метод на сегодняшний день считается предпочтительным в ряде стран, однако, его экономическая целесообразность должна рассчитываться из условий региона предполагаемого места захоронения.

5. Плавление горной породы или метод конвейерного захоронения РАО.

Предлагается помещение РАО в капсулы, которые будут одна за другой опускаться в пробуренные скважины до 2,5 км, саморазогреваться и проплавливать породу, опускаясь к центру Земли. Метод представляет большую опасность, так как возможен взрыв отходов на большой глубине, который может привести к сильнейшим землетрясениям и к огромному выбросу радионуклидов в окружающую среду.

6. Прямое закачивание жидких РАО.

Данный метод осуществляется прямым закачиванием жидких РАО в пласт горной породы на большой глубине. При этом пласт должен обладать достаточной пористостью и достаточной проницаемостью, чтобы разместить установленное количество отходов и обеспечить лёгкое закачивание. Также пласт должен быть окружён непроницаемыми породами, представляющими собой дополнительный защитный барьер. Такой вариант захоронения имеет некоторую опасность, так как возможно взаимодействие жидкого раствора РАО с окружающими горными породами.

7. Захоронение РАО в горных породах.

Предполагается размещение РАО в стабильных блоках земной коры. Причём сами отходы находятся в твёрдой фазе, и заключены в матрицу из твёрдых растворов минералов.

К матрицам должны предъявляться следующие требования:

- матрица должна состоять из пород, более или менее соответствующих составу пород в месте захоронения;
- концентрировать в себе определённые группы элементов радиоактивных отходов;
- иметь низкую скорость выщелачивания.

На сегодняшний день существует много минералов, подходящих для производства матриц, их список ежедневно увеличивается. Наиболее подходящими считаются:

1. Боросиликатные, алюмофосфатные стёкла - являются основными на данный момент матричными материалами, используемыми для обезвреживания радионуклидов. Их недостатком является недостаточная устойчивость при размещении в породах земной коры;

2. СИНРОК – синтетическая горная порода, наилучший вариант для создания матрицы, так как СИНРОК очень устойчив к процессам выщелачивания, содержит в себе породы пирохлора и криптомелана, нейтрализующие излучение некоторых элементов, а именно стронция и бария. Недостатками являются высокая стоимость сырья и сложная технологическая схема производства.

Также в перспективе возможно производство двухслойных матриц, в роли второго слоя выступает кварц, который экспериментальным путём подтвердил свою способность снижать концентрацию радионуклидов в растворе при определённых условиях.

Международные исследования показали, что наиболее подходящими вмещителями РАО могут выступать три типа горных пород: глина (аллювий), скальные породы (базальт, гранит, порфирит) и каменная соль.

Выбор мест для такого захоронения РАО должен определяться по ряду условий, обеспечивающих самый высокий уровень защиты окружающей среды и населения от возможного воздействия радиоактивного излучения.

При выборе мест захоронения РАО в горных породах должны выполняться следующие условия:

- пункт захоронения окружается санитарно-защитной зоной, а ближайшие поселения располагаются на расстоянии не менее 3х радиусов защитной зоны;

- отчуждённая территория изымается из сферы человеческой деятельности, а значит, располагается за пределами расположения полезных ископаемых и вне зоны активного водообмена;
- пункт захоронения должен отвечать всем критериям безопасности, а также обеспечивать максимальный уровень безопасности при возникновении чрезвычайных ситуаций;
- захоронение РАО осуществляется с максимально возможной плотностью заполнения хранилища.

После захоронения должен осуществляться долговременный контроль за состоянием окружающей среды и самого хранилища (температура, давление, радиационный фон и т.д.).

Этот метод обладает целым рядом достоинств по сравнению с другими способами обезвреживания РАО:

- РАО изолированы от окружающей среды и людей;
- метод обеспечивает захоронение отходов на неограниченно долгий промежуток времени, не накладывая обязательств на будущие поколения;
- химические элементы в составе РАО помещаются в естественную для них среду (среда их возникновения);
- достаточно большое количество подходящих мест захоронения на Земном шаре;
- возможный источник сырья для атомной промышленности в будущем.

Таким образом, метод геологического захоронения РАО в горных породах является наиболее перспективным и экономически целесообразным, но требует более детального изучения.