

## ИССЛЕДОВАНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ЗАХОРОНЕНИЕМ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В ГЛУБОКИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФОРМАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ЛАБОРАТОРИИ ГРИМЗЕЛЬ, ШВЕЙЦАРИЯ)

А.В. Талицкая, научный сотрудник НТЦ ЯРБ

### *Стратегия захоронения*

В настоящее время большинство стран отдают предпочтение развитию идеи захоронения долгоживущих радиоактивных отходов (РАО) в глубокие и стабильные геологические формации. Через систему многочисленных природных и инженерных защитных барьеров эта стратегия позволяет изолировать отходы от окружающей природной среды на долгие периоды времени, обеспечивает незначительные концентрации остаточных радиоактивных веществ, достигающих биосферы через многие тысячи лет, по сравнению, например, с естественным фоном радиоактивности и делает риск от возможного вмешательства человека допустимо малым. Такое окончательное решение о захоронении было бы, по существу, постоянным, не требующим дальнейшего вмешательства или организованного контроля людей, хотя информация об участке возможного размещения хранилища и мониторинговые наблюдения будут продолжаться во время периода активного контроля (институционального периода).

Другие варианты решений об изоляции отходов от окружающей среды также рассматривались на протяжении длительной эволюции стратегии захоронения в геологическую среду, но не нашли последователей. Они включают:

- концепции захоронения РАО в многолетнемерзлых горных породах или в шапках полярного льда, что трудноосуществимо и плохо поддается контролю;
- захоронение РАО во внеземном пространстве (космосе), что трудноосуществимо и небезопасно;
- захоронение под дном океана, для чего было бы трудно получить согласие международных организаций.

Возможно появление других предложений по захоронению РАО в следующие десятилетия. Разумеется, необходимо поддерживать исследования по любому вероятному альтернативному решению для возможности пересмотра концепции.

Захоронение в геологическую среду считается наиболее приемлемым. Более того, оно может быть обратимым в отличие от других вариантов.

Существенный аспект стратегии изоляции отходов – долгосрочная безопасность захоронения в геологическую среду – должна быть убедительно представлена и принята до того, как отходы будут фактически размещены. Этого можно достичь с помощью оценок безопасности на длительные периоды времени, такие как тысячи и возможно миллионы лет. Оценки дают возможность объяснить властям и широкой публике долгосрочную безопасность для любой выбранной концепции и площадки размещения пункта захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО). Естественно, в подобных оценках присутствует некоторая неопределенность, связанная с оценкой будущих ситуаций, таких как резкие изменения климата, поведения человека в будущем и др.

Захоронение РАО в глубокие геологические формации включает в себя ряд последовательных стадий и состоит из:

- концептуальной и технологической разработки хранилища;
- исследования участков возможного размещения хранилища;
- исследования характера поверхности и геологической среды на выбранных площадках;
- выбора одной или нескольких площадок, наиболее подходящих для захоронения;
- обоснования с инженерной точки зрения возможности проведения работ;
- строительства подземного хранилища;
- размещения отходов;
- заполнения пространства вокруг отходов буферным материалом;

- герметизации всех выходов, демонтажа всех установок на поверхности и закрытия объекта для сохранения его в пассивно безопасном состоянии.

При этом мониторинг окружающей среды, инженерных барьеров, поведения радионуклидов должен осуществляться с момента начала строительства хранилища и по крайней мере до момента его закрытия.

Каждая из вышеперечисленных стадий будет продолжаться много лет, если не десятилетий, и должна стать предметом общественного обсуждения и тщательного изучения органами регулирования, которые, прежде чем дать разрешение переходить к следующей стадии, обязаны быть удовлетворены полученными результатами.

В течение процесса принятия решений необходимо непрерывно собирать научную информацию из наблюдений на площадке и вокруг нее. Исследования в подземных лабораториях – одна из составных частей изучения возможности захоронения отходов в геологических формациях. Как правило, сооружаются и используются такие лаборатории совместно несколькими государствами. Исследования в подземных лабораториях помогают объяснить безопасность захоронения отходов. Например, здесь проводятся экскурсии и технические туры, в ходе которых показывается поведение геологической среды в реальных условиях.

Возможность извлечения РАО и возвращения к прежнему состоянию – важный этический момент: захоронение в геологическую среду не должно обязательно рассматриваться как необратимый процесс, полностью перекрывающий возможные будущие перемены в политике обращения с отходами. В связи с этим нужно отметить, что герметизация площадки и выходов из хранилища всегда будет требовать особого решения, которое может откладываться на длительное время после операций по размещению отходов, для сохранения обратимости и гибкости в процессе, если это считается необходимым.

### ***Программа по выбору площадки для захоронения РАО в глубокие геологические формации в Швейцарии***

Федеральное управление по энергетике Швейцарии подготовило проект трехэтапной программы по выбору площадок для захоронения радиоактивных отходов в глубоких геологических формациях.

На первом этапе национальная компания по обращению с РАО “Nagra” проводит работы по выбору площадки, подходящей для обустройства ПЗРО. В Швейцарии планируется сооружение двух ПЗРО в глубоких геологических формациях: одно – для высокоактивных отходов, облученного топлива и долгоживущих среднеактивных отходов, другое – для низко- и среднеактивных отходов. После выбора подходящей площадки федеральное управление должно проинформировать об этом коммуны (жителей местных территорий) и соседние страны и начать работу по проведению технико-экономического исследования и обоснования безопасности. В случае получения положительных результатов предложения будут направлены на утверждение в Совет Федерации.

На втором этапе будет проведена оценка наземной инфраструктуры в связи с возможным размещением ПЗРО и социально-экономических аспектов его сооружения.

На третьем этапе “Nagra” должна будет предложить площадку для размещения ПЗРО для низко- и среднеактивных отходов, а также для высокоактивных отходов. Как вариант “Nagra” может предложить одну площадку для отходов всех категорий.

По Закону об атомной энергии Швейцарии РАО должны захораниваться в глубоких геологических формациях с возможностью извлечения.

В 2005 г. “Nagra” предложила провести обследования на предмет размещения ПЗРО в опалиновых глинистых породах на севере страны, недалеко от границы с Германией. В течение 2006 г. предложение обсуждалось властями кантонов (местных территориальных подразделений) с участием рабочих групп и на специальных семинарах.

Одновременно с этим ведутся работы по изучению поведения кристаллических пород в подземной лаборатории Гримзель и в лаборатории в опалиновых глинах Монт Терри.

### **Научно-исследовательская подземная лаборатория Гримзель**

Национальная компания по обращению с РАО "Nagra" эксплуатирует подземную лабораторию в кристаллических горных породах в регионе Гримзель начиная с 1983 г. В настоящее время 19 организаций из 10 стран включены в различные программы исследований.

Лаборатория Гримзель расположена на 1730 м ниже уровня моря в кристаллических породах (преимущественно в гранитах). Основной тоннель протяженностью более 1 км сооружен в 1983 - 1984 гг. при помощи специальной буровой машины (диаметр бура 3,5 м). Дополнительные тоннели пробурены позже, в 1990-1998 гг. В них проводятся эксперименты.

Ниже приведен обзор исследовательских программ подземной лаборатории Гримзель:

1983 - 1986 гг. – определение геологических, гидрогеологических, геомеханических, геохимических и инженерных параметров геологической среды;

1984 - 1986 и 1994 – 1996 гг. – геофизические исследования;

1986 - 2004 гг. – исследования миграции радионуклидов в геологической среде;

1990 - 1993 гг. – исследования в дальней зоне;

1994 - 1996 гг. – исследования в ближней зоне;

1995 - 2004 гг. – масштабный эксперимент по миграции (радионуклидов и коллоидов);

1997 - 2004 гг. – тестирование и верификация моделей миграции;

1997 - 2003 гг. – разработка подходов к реализации захоронения РАО в глубокие горизонты;

1997 - 2004 гг. – так называемая V фаза исследований (включает ряд натуральных исследований);

2003 - 2013 гг. – так называемая VI фаза исследований – продолжается в настоящее время.

В подземной лаборатории Гримзель продолжается обработка результатов V фазы проекта (1997 - 2004 гг.), основными этапами которого являлись:

- исследование осаждения коллоидов и радионуклидов кристаллическими породами;
- исследование в ближней зоне тоннелей;
- определение основных параметров геологической среды (механических, геохимических, геофизических);
- изучение поведения предполагаемых инженерных барьеров (бентонитовых глин и цемента);
- разработка системы мониторинга;
- исследование миграции газа в трещиноватой зоне;
- исследование миграции щелочного раствора в трещиноватой зоне.

В рамках VI фазы проекта продолжаются исследования миграции радионуклидов и коллоидов, в большей степени в зоне повышенной трещиноватости. Возможно, в течение VI этапа начнется проведение эксперимента с размещением реальных РАО в геологическую среду с целью изучения поведения радионуклидов и инженерных барьеров (в частности, бентонитовых глин). Такой эксперимент, по всей вероятности, будет продолжаться не один десяток лет.

Стратегия захоронения РАО имеет большое количество сторонников во всем мире. Такие страны, как Бельгия, Чешская Республика, Финляндия, Франция, Германия, Япония, Швеция, Швейцария, Испания, Тайвань, Великобритания, США, вкладывают огромные средства в изучение поведения радионуклидов и природной среды, для чего принимают участие в организации подземных лабораторий в наиболее приемлемых для захоронения геологических формациях (преимущественно в кристаллических породах или глинах).

Необходимо отметить также важность вовлечения населения в процесс принятия решений на всех стадиях сооружения хранилища в глубоких геологических формациях и проведения разъяснительных работ с местными жителями.