

Последние новости: Международный проект Stripa

*Сообщение об успехах на испытательной
станции ядерных отходов в старой
горной выработке железорудного
месторождения в Швеции*



Ханс Карлссон

Проект Stripa представляет собой международный проект, осуществляемый на кооперативных началах в заброшенной горной выработке железорудного месторождения в центральной части Швеции. Проект, осуществляемый глубоко под землей в кристаллических породах, включает в себя исследования в реальных условиях окружающей среды различных вопросов, связанных с захоронением высокоактивных отходов от ядерной энергетики. Горная выработка Stripa является только испытательной станцией, там не предполагается применять или хранить какие-либо радиоактивные вещества.

Проект проводится автономно под эгидой Агентства по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР/АЯЭ). Проектом управляет Отдел исследований и развития Шведской компании по обращению с ядерным топливом и отходами (SKB) под руководством представителей от каждой участвующей страны. Участвуют следующие страны: Канада, Финляндия, Франция, Япония, Испания, Швеция, Швейцария, Великобритания и США.

Проект был начат в 1980 г. Некоторые исследования к настоящему времени уже выполнены, оставшиеся будут завершены в течение 1986 г. Однако ведутся переговоры относительно дополнительных исследований, требующих продления проекта. Эксперименты проводятся главным образом на глубине 360 м в массиве серо-светло-красного гранита средней зернистости.

Программа исследований 1980–1986 гг.

Проект Stripa включает в себя ряд частных проектов с разными задачами, бюджетами и графиками работ. Исследования главным образом концентрируются в следующих областях:

- Выявление и картографирование зон разлома

Г-н Карлссон является сотрудником Отдела исследований и развития Шведской компании по обращению с ядерным топливом и отходами (SKB), Стокгольм.

- Параметры подземных вод и миграция нуклидов
- Бентонитовая глина как материал для заполнения и изоляции.

О полученных результатах сообщается ежеквартально во внутренних и технических отчетах. В июне 1985 г. был организован международный симпозиум, на котором были освещены эксперименты и их результаты. Материалы симпозиума можно получить через Агентство по ядерной энергии ОЭСР*.

Выявление и картографирование зон разлома

Так как ядерные отходы в течение длительного периода времени остаются радиоактивными, необходимо оценить возможность утечки радионуклидов из хранилища и переноса их в биосферу. Единственно возможным механизмом утечки является растворение и перенос потоком подземных вод. В зонах разлома существуют преимущественно потоки грунтовых вод, являющиеся важнейшими характеристиками таких зон.

Задачей „кроссовых“ исследований (в поперечных сечениях скважин) является разработка и испытание геофизических и гидравлических методов и приборов для детектирования и картографирования зон разлома. Разрабатываются и испытываются электромагнитные (локатор), сейсмические и гидравлические (синусоидальные) методы.

Исследования проводятся в поперечных сечениях как одиночных скважин, так и в их совокупности и называются „кроссовыми“ измерениями. Через породу передаются различного вида сигналы. Неоднородности, такие как зона разлома, будут влиять на передачу сигналов. Определение местонахождения зон разлома и их направленности проводится по измерениям в большом числе сечений скважин.

Основная часть исследований проводится в размещенных особым образом скважинах на глубине 360 м в Stripa. Объем породы, около 3 млн. кубометров, был охвачен шестью скважинами, размещен-

* По адресу: 38 Boulevard Suchet, 75016 Paris, France.

ными веером, при этом расстояние между скважинами не превышало 200 м. Была проведена обширная программа „стандартных“ исследований на одиночных скважинах для получения базы данных, с которыми можно сравнивать результаты, получаемые с помощью вновь разработанных методов.

Новая радиолокационная система

Была сконструирована и испытана в Stripa новая радиолокационная система, регистрирующая отчетливые отражения электромагнитных сигналов от существующих зон разлома, расположенных на удалении до 100 м от скважин. Результаты продемонстрировали большие возможности этой системы в исследовании зон разлома. Особенно обнадеживает то, что большинство зон, как кажется, очень хорошо отражают сигналы локатора.

При анализе радиолокационных измерений были обнаружены все зоны, выявленные ранее по картам массива и данным каротажа, а также несколько новых зон. Были получены все основные отражения, доказывающие, что метод работает достаточно полно.

Короче говоря, радиолокационная система доказала свою высокую эффективность при выявлении и описании зон разлома. Значительная работа остается по физическому описанию разломных регионов, но ясно, что чисто геометрическая проблема описания их ориентации может быть реально разрешена.

Гидравлические испытания

Компонентом гидравлических испытаний при „кроссовых“ исследованиях является передача различных гидравлических сигналов между двумя или большим количеством скважин. При прохождении сигнала через водоносную породу он изменяется в результате взаимодействия разломов и горной породы. Математическая интерпретация возмущений сигнала позволяет количественно выразить разнообразные соответствующие гидрогеологические параметры. „Кроссовые“ испытания представляют собой сочетание „стандартных“ интерференционных методов и более нового синусоидального метода. Кроме того, были применены почти все виды активных испытаний для единичной скважины, включая испытания с постоянным потоком, постоянным давлением, порционные и импульсные испытания.

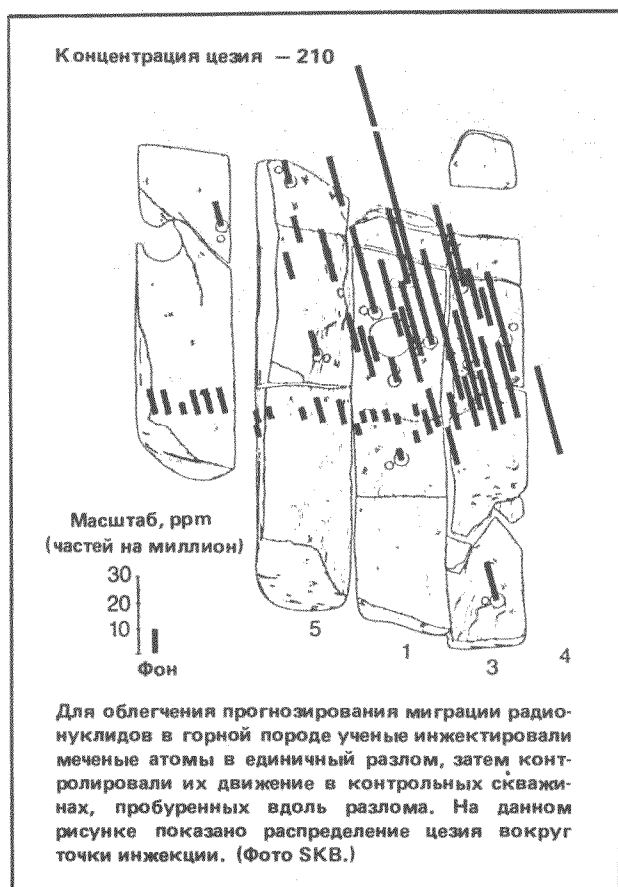
Испытательная система разработана для эксплуатации на глубине 360 м в шахте Stripa, но она в равной степени пригодна для выполнения гидрогеологических измерений в любой полости скальных пород, в которой давление воды превышает атмосферное давление.

В Stripa была проведена сейсмическая „кроссовая“ съемка, интерпретация данных которой и их сравнение с радиолокационными и гидравлическими измерениями проводятся в настоящее время. Однако сейсмические исследования могут выполняться на расстоянии 500 или более метров между передатчиком и приемником, что делает шахту Stripa менее подходящей в качестве испытательной площадки. Поэтому в дополнение к Stripa в качестве вспомогательной испытательной площадки использовалась площадка Gideå, расположенная в северной части Швеции. Геология площадки Gideå была ранее тщательно исследована компанией SKB в рамках программы по выбору потенциальной площадки для хранения отработавшего ядерного топлива.

Параметры подземных вод и миграция нуклидов

Часть исследований на площадке Stripa направлена на изучение эволюции подземных вод Stripa и на развертывание общей программы сбора проб воды и проведения анализов в кристаллической породе. Пробы воды берутся с глубин до 1200 м от поверхности. Один из первых выводов, сделанных к настоящему времени в результате этих исследований, заключается в том, что для различных растворенных элементов будет наблюдаться разное время удержания. Причина этого заключается в том, что они имеют разное происхождение и разную историю эволюции, которая может быть связана, а может и не быть связана с полной эволюцией непосредственно подземных вод. Поэтому при определении возраста подземных вод это следует помнить.

Чтобы иметь возможность прогнозировать миграцию радионуклидов с подземными водами по разломам породы, необходимо понять происходящие при этом процессы. Для их количественной оценки не-



Ученые использовали этот экспериментальный штрек, покрытый пластиковыми пленками для отбора проб воды в экспериментах по определению направлений водных потоков. (Фото SKB)



обходимы данные о величине потока и переносе в реальных разломах при реальных условиях. Используемые для прогнозирования модели должны включать описание важных процессов и механизмов.

Моделирование миграции в анализах безопасности для хранилища в гранитных породах основывается на предположении, что если и когда любые радионуклиды выщелачиваются из отходов, то практически все важные радионуклиды будут химически или физически взаимодействовать с коренной породой и, следовательно, удерживаться ими. Степень такого удерживания зависит от скорости потока воды, интенсивности захвата, соотношения реакций, а также от величины поверхности контакта с омывающей водой.

При исследованиях, называемых „миграция в единичном разломе”, в единичный разлом нагнетались сорбируемые и несорбируемые меченые атомы, имитирующие радионуклиды. Время поступления и концентрации этих меченых атомов измеряется в контрольных скважинах, пробуренных вдоль разлома на расстоянии около пяти метров от точки инъекции. Кроме того, были взяты пробы алмазным буром из разлома вблизи точки инъекции. Результаты полевых испытаний вместе со вспомогательными лабораторными испытаниями показали, что на величину захвата мигрирующих радионуклидов важное влияние оказывают два механизма:

- Диффузия в коренную породу, находящуюся рядом с разломом, и последующая сорбция на внутренних поверхностях
- Канализирование нуклидов в разломе, т.е. только определенная часть разлома пропускает воду.

Первый механизм существенно увеличивает способность коренной породы задерживать радионуклиды. Второй механизм противодействует первому, уменьшая площадь соприкосновения протекающей воды и коренной породы. Он может также приводить к образованию „быстрых” каналов.

Крупномасштабные испытания миграции

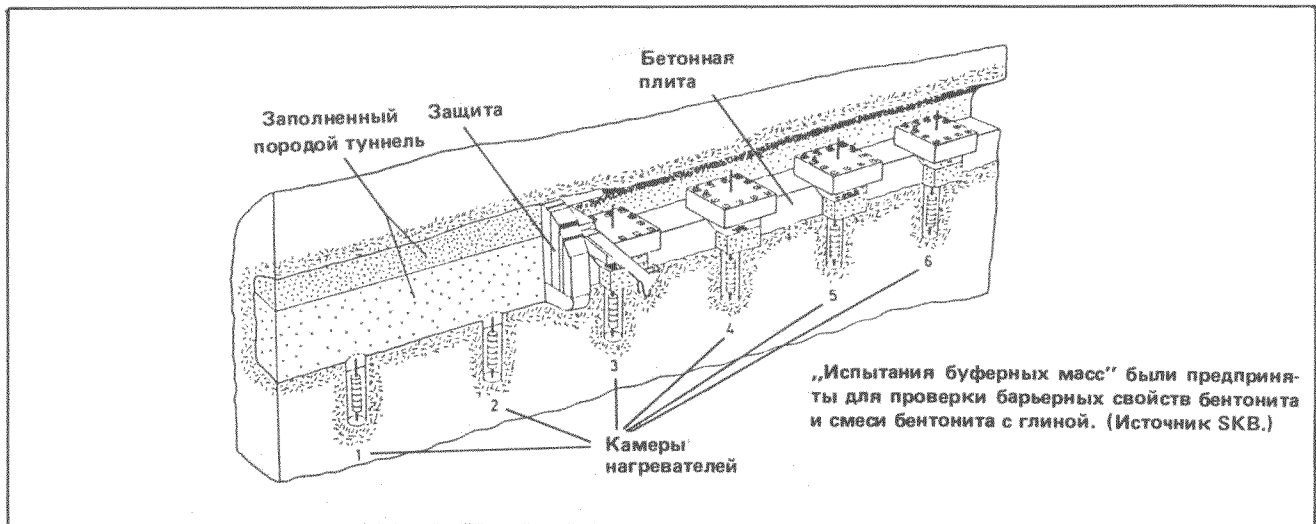
В настоящее время на площадке Stripa проводится крупномасштабный эксперимент по миграции меченых атомов. Его задачей является получение знаний о механизме пространственного распределения водных путей в кристаллических породах на больших расстояниях (до 50 м).

Экспериментальная площадка расположена на глубине 360 м. Вода постоянно поступает в штрек на этом уровне, так как он расположен значительно ниже зеркала воды. Консервативные (сорбируемые) меченые атомы инжектируются в этот поток воды. Испытательная площадка состоит из двух пересекающихся штреков общей длиной 100 м. Были пробурены три вертикальные инъекционные скважины по направлению к поверхности длиной около 70 м. Инъекция меченых атомов проводилась в девяти отдельных зонах в этих скважинах с повышенной проницаемостью, по сравнению со средними свойствами породы. Свод штрека полностью и частично стены покрываются пластиковыми пленками для отбора проб воды для дальнейшего анализа.

Предварительные данные крупномасштабного испытания миграции показывают, что в рассматриваемом масштабе поток воды в породе неоднороден. Очевидно, что в этом масштабе поток воды не может описываться гомогенным потоком в пористой среде. Важную роль, очевидно, играет образование каналов.

Испытания буферных и изоляционных материалов

„Испытания буферных масс” были начаты в 1980 г. и закончены в 1985 г. Шесть больших скважин диаметром 0,75 м и глубиной около 3,5 м использовались в качестве камер для хранения имитаторов канистр с отходами. Камеры были заполнены сильно уплотненным бентонитом, покрытым сверху сло-



ем смеси песка с бентонитом. Часть экспериментального штрека была полностью заполнена смесью песка с бентонитом.

Испытания предназначались для проверки пригодности буферных материалов на основе бентонита и их ожидаемого поведения в реальных условиях. При этом измерялись температура, поглощение воды, разбухание и давление воды. Мощность нагревателей была 600 Вт, но также были проведены дополнительные испытания при повышенной мощности — 1200 и 1800 Вт. Камеры для хранения были раскопаны через разные промежутки времени — от 10 до 40 месяцев, и бентонитовая масса тщательно исследована. Точно также заполненная часть штрека была раскопана спустя 33 месяца после начала испытаний.

Большинство полевых работ было выполнено в течение 1984 г. Эксперимент прошел весьма успешно и показал, что после пропитывания водой и разбухания бентонит заполнил все пустоты, подтвердив, таким образом, результаты, полученные ранее лабораторным путем.

В настоящее время в ряде экспериментов исследуется бентонитовая глина в качестве изолирующего материала для скважин, проходок и туннелей. Эксперименты по изолированию скважин предназначались для испытания применяемого метода и определения скорости созревания бентонита, а также адгезии глинистых материалов к горной породе. В скважинах были установлены перфорированные медные или стальные трубы, заполненные цилиндрическими блоками из сильно уплотненного бентонита.

Водоносные разломы или зоны разломов, пересекающие проходки и туннели, также могут изолироваться или запечатываться сильно уплотненным бен-

тонитом. В эксперименте по изолированию шахты две бентонитовые пробки разделяются заполненной песком инъекционной камерой, имитирующей водоносный разлом. Оценки проводятся путем сравнения инъекционного потока с потоком ранее проведенного эталонного испытания с бетоном вместо бентонитовых пробок.

Сильно уплотненный бентонит также исследовался в качестве материала для изолирования пересекающих штрек водоносных зон с большой степенью трещиноватости. Такая водоносная зона моделировалась водяными трубами, погруженными в песок. Первое испытание, проведенное после завершения подготовительных работ, показало, что даже при высоком давлении воды (3 МПа) бентонит обладает очень хорошими изолирующими свойствами, соответствующими прогнозируемым.

Библиография технических материалов

- *Stripa Project — Annual Report 1984*, SKB, Stripa Project TR 85-07, Stockholm (1985).
- *Annual Research and Development Report 1984*, SKB, TR 85-01, Stockholm (1985).
- *Stripa Project — Executive Summary of the Phase I Activities*, SKB, Stockholm (in press).
- *Radioactive Waste Disposal — In Situ Experiments in Granite*, Proceedings of the Second NEA/Stripa Project Symposium, OECD/NEA, Paris (1985).

