© В.В. Киселев, Ю.А. Хохолов,
М.В. Каймонов, 2006

УДК 504.064.47

В.В. Киселев, Ю.А. Хохолов, М.В. Каймонов

*ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА РУДНИКОВ КРИОЛИТОЗОНЫ ДЛЯ ЗАХОРОНЕНИЙ ТВЕРДЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ (ТРАО)**

Семинар № 8

Проблема захоронения мелких партий ТРАО в виде кернов, геологических проб наиболее остро стоит в северных регионах страны, где отсутствуют, как правило, собственные могильники, а сбор, классификация и транспортировка их в соседние регионы сопряжена с большими трудностями и затратами. К тому же, многие имеющиеся в центральных районах могильники зачастую бывают переполнены и прием на захоронение ТРАО по этой причине ограничен.

Необходимо отметить, что строительство собственного могильника (в частности в РС (Я)) в условиях криолитозоны сопряжено с большими трудностями и затратами, а так же нерешенностью целого ряда проблем технического и экологического порядка.

Проведенными ИГДС СО РАН исследованиями с целью нормализации радиационной обстановки на территориях загрязненных выбросами аварийных подземных ядерных взрывов (АПЯВ) была разработана конструкция поверхностного курганного могильника (ПКМ) ТРАО [1]. В тоже время необходимо отметить, что могильник рассчитан на захоронение больших объемов ТРАО, без их классификации и концентрирования, возведение его предполагается осуществлять с использованием мощной техники [2] и он не предназначен для захоронения малообъемных ТРАО.

В связи с этим была поставлена задача в соответствии с ранее разработанной ИГДС концепцией [2] разработать бесконтейнерный способ захоронения специально для этих видов ТРАО, используя в адаптированном виде существующие технологии горного дела, с учетом климатических, геокриологических и т.д. особенностей республики при максимальном использовании подземного выработанного пространства, местных материалов и естественных природных ресурсов криолитозоны.

Необходимо отметить, что, наиболее острой проблема учета, сбора и захоронения ТРАО стала в период перестройки, когда ликвидировались многие геологоразведочные предприятия (экспедиции, партии), и имеющиеся хранилища для кернов, геологических проб небезопасных для биоты, стали бесконтрольными и бесхозными. Вместе с тем, зачастую вышеперечисленные материалы по степени радиоактивности относятся к ТРАО и в соответствии с действующим законодательством должны быть в обязательном порядке захоронены.

Стоящая проблема в рамках РС (Я) может быть решена, по-нашему мнению,

*Работа выполнена при поддержке РФФИ код проекта № 05-08-50083

путем временного бесконтейнерного захоронения ТРАО на территории республики в подземном могильнике (ПМ), возведенном в отработанной подземной горной выработке, с использованием технологий горного дела [3, 4]. Как известно, горнодобывающие регионы Севера,в частности РС (Я), обладают большим количеством отработанных подземных горных выработок с круглогодичным отрицательным тепловым режимом горного массива и воздушной среды, пригодных для повторного использования в целях не связанных с горным производством, которые зачастую не используются [5].

Вместе с тем, суровый климат, естественные природные ресурсы криолитозоны, специфика горно-техничес-ких условий подземной разработки ряда месторождений полезных ископаемых благоприятствует, по-нашему мнению, высокой надежности захоронения ТРАО в подземном выработанном пространстве. К ним относятся:

- Высокая устойчивость выработок при круглогодичном сохранении вмещающих пород в мерзлом состоянии, и как следствие этого долговременность ПМ.
- Отсутствие притока подземных вод, а, следовательно, возможности миграции радионуклидов.
- Низкая интенсивность процессов физико-химического выветривания пород, а, следовательно их разупрочнения, вызывающего снижение устойчивости выработок.
- Круглогодичная отрицательная температура воздушной среды и горных пород, тем самым обеспечивается возможность компаундирования ТРАО льдом (замерзшей водой).

Кроме этого, в сравнении с открытым способом захоронения, отпадает необходимость в выполнении ряда операций: возведение гидроизоляционного и теплозащитного слоев, противоэрозионной защиты, возведении защитных барьеров, что несомненно снижает трудоемкость и затраты. К этому можно добавить простоту контроля радиационного фона, отсутствие затрат на ремонт и т.д.

Одним из возможных вариантов реализации предлагаемого способа заключается в последовательном проведении последовательно выполняемых операций с использованием технологий горного дела возведения ледопородных целиков (рис. 1). В начале в предварительно подготовленную отработанную горизонтальную подземную горную выработку (действующего, законсервированного или закрытого рудника) с поверхности в зимний период пробуривают две вертикальные скважины (диаметром 500-600 мм), обсаживаемые металлическими трубами, одна из которых служит для спуска ТРАО, а вторая для целей вентиляции.

Под землей в горной выработке под загрузочной скважиной сооружают периодически наращиваемую по высоте опалубку прямоугольного сечения, размеры которой определяются объемом захораниваемых ТРАО и габаритами выработки. На поверхности у вентиляционной скважины устанавливается нагнетающий вентилятор и прокладывается вентиляционный рукав под землю.

С началом зимы подлежащие захоронению ТРАО временно складируются у устья загрузочной скважины, кроме этого, заготавливают и складируют колотый лед, который используют в качестве холодоаккумулирующего наполнителя для ускорения промораживания захораниваемых отходов в подземных условиях, значительно сокращая тем самым, в совокупности с принудительным обдувом холодным воздухом, продолжительность смерзания уложенного слоя и время возведения ПМ. Перед началом работ наполняют водой теплоизолированную емкость и приготавливают к работе разбрызгивающее устройство (рис. 1).

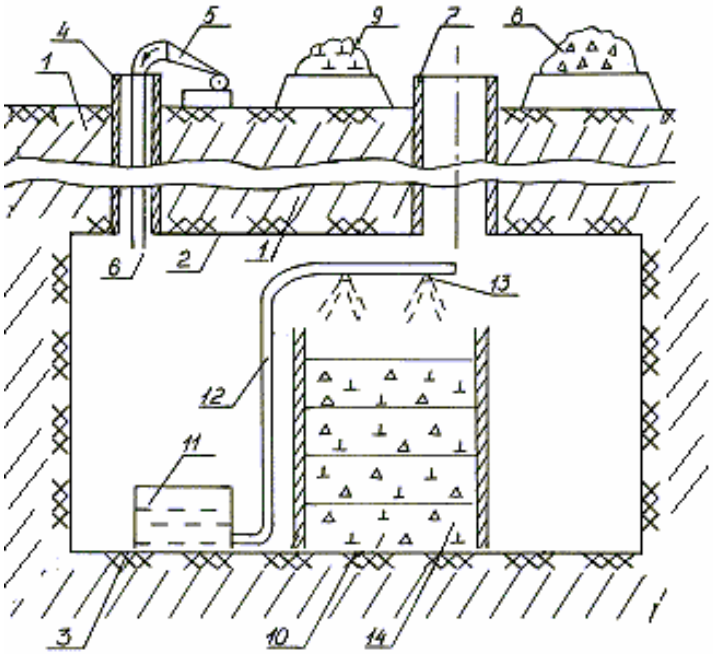

Рис. 1. Подземный бесконтейнерный способ захоронения твердых радиоактивных отходов (ТРАО) в отработанных подземных горных выработках рудников криолитозоны: *1* - налегающий над горной выработкой массив мерзлых горных пород; *2* - кровля отработанной подземной горной выработки; *3* - почва горной выработки; *4* - вентиляционная скважина; *5* - нагнетающий вентилятор; *6* - вентиляционный рукав; *7* - загрузочная скважина; *8* - временный отвал ТРАО; *9* - временный отвал колотого льда; *10* - опалубка; *11* - емкость с водой; *12* - напорный шланг; *13* - форсунки; *14* - ТРАО, сцементированные льдом

ТРАО, загружаются в скважину вперемешку с колотым льдом и под собственным весом поступают в горную выработку, в пространство огороженное опалубкой в количестве необходимом для получения слоя толщиной ≈ 30 см. Далее производится разравнивание и утрамбовка слоя ТРАО и пролив его водой с образованием ледопородного монолита. Затем включается вентилятор и производится обдув уложенного слоя холодным (атмосферным) воздухом, ускоряя тем самым, как уже говорилось, процесс его промораживания, по окончании которого производят укладку следующего слоя и т.д., до полной укладки всех ТРАО или достижения кровли выработки. Таким образом, получается устойчивое ледопородное сооружение - подземный мини могильник.

По завершению захоронения ТРАО производятся работы по герметизации скважин, исключив тем самым возможный подсос теплого атмосферного воздуха в летний период и попадание дождевых осадков в горную выработку. При необходимости, для изоляции подземного могильника от действующих выработок рудника должна быть возведена герметичная перемычка, на внешней поверхности которой наносятся запрещающие знаки (радиационной опасности).

В случае обнаружения или наличия (появления) новых ТРАО, работы по их захоронению могут быть продолжены в зимний период в той же выработке. При возможности наращивания по высоте уже существующего могильника, для этого достаточно расконсервировать скважины,

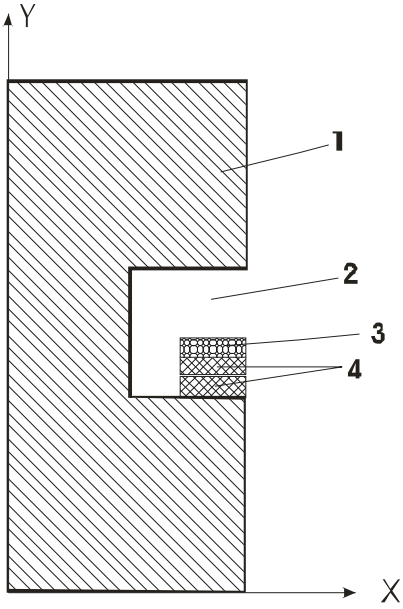

Рис. 2. Схема расчета: *1* - массив горной породы; *2* - выработанное пространство; *3* - слой замораживаемых ТРАО; *4* - мерзлые (замороженные) ТРАО

нарастить опалубку и заготовить лед в достаточном количестве. Все работы по захоронению производятся в том же (вышеописанном) порядке.

При полном заполнении существующего могильника (на всю высоту) с поверхности в зимнее время пробуривается новая загрузочная скважина и начинается возведение нового могильника по вышеописанной технологии, при этом используется имеющаяся вентиляционная скважина с удлиненным вентиляционным рукавом. Работы по захоронению ТРАО могут проводится до полного заполнения всей площади выработки.

Полностью заполненная выработка (мини могильниками ТРАО) отшивается (изолируется) каптальной перемычкой, все скважины тщательно герметизируются. Таким образом получается подземный полигон захороненных радиоактивных отходов, состоящий из нескольких индивидуальных могильников, которые в свою очередь выполняют функции целиков, поддерживая выработанное пространство.

Для обеспечения высокой скорости возведения ПМ необходим правильный выбор и соблюдение технологических режимов укладки и проморозки единичных слоев ТРАО, а также оценка динамики формирования температурного поля ТРАО и породного массива.

Для этого разработана двумерная математическая модель теплообмена рудничного воздуха с ТРАО и окружающим массивом горных пород. Принято, что сечение выработки имеет форму прямоугольника. В силу симметричности области рассматривается ее половина. Расчетная схема приведена на рис. 2. Замораживание ТРАО осуществляется с трех сторон. Для решения двухмерной задачи теплообмена применим метод суммарной аппроксимации, который сводит исходную задачу к последовательности одномерных задач [6]. На каждом временном слое решается последовательность одномерных задач. Для решения одномерной задачи промерзания-протаивания используются численные методы сквозного счета со сглаживанием коэффициентов [7, 8].

На рис. 3 приведены результаты расчета при начальной температуре слоя, равной +2 °С. Из графиков видно, что для заданной толщины слоя существует оптимальное время замораживания, при котором суммарное время формирования массива из ТРАО (могильника) минимально.

Для каждой толщины слоя существует оптимальное время замораживания одного слоя. Так, например, при толщине замораживаемого слоя 0,2 м оптимальное время замораживания одного слоя составляет 13 ч, при толщине 0,3 м – 18 ч, а при толщине 0,4 м -22 ч. Увеличение времени проморозки каждого слоя увеличивает общее время закладки пропорционально. Поэтому на практике время замораживания

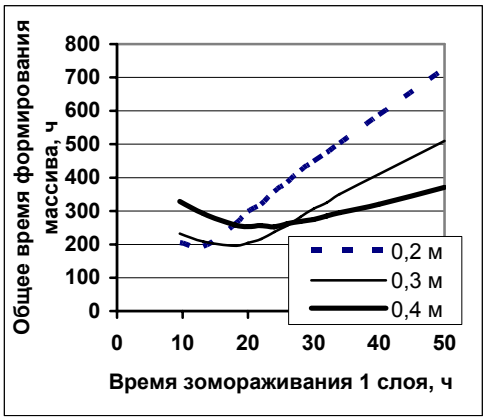

Рис. 3. Продолжительность формирования массива ТРАО в зависимости от времени замораживания 1 слоя при различных толщинах слоя

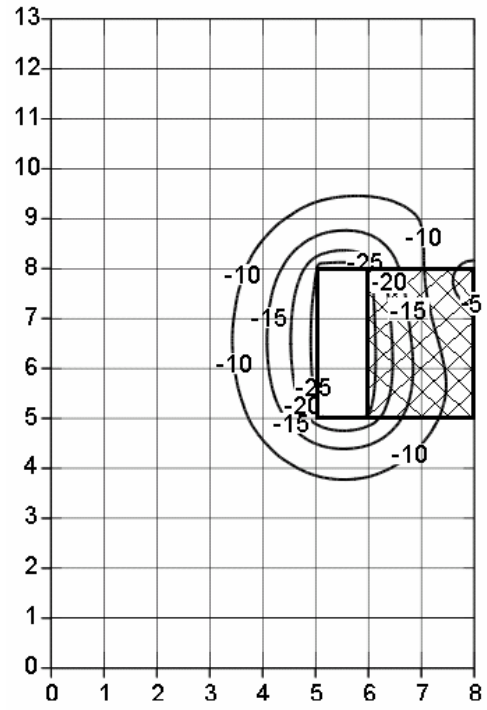

Рис. 4. Температурные изолинии в массиве ТРАО и в окружающих горных породах в конце могильника

должно выбираться с некоторым запасом, чтобы гарантировать полное промораживание массива из ТРАО за заданный промежуток времени.

На рис. 4 приведены температурные изолинии в подземном могильнике ТРАО и окружающем массиве горных пород при времени замораживания единичного слоя, равному 20 часов, в момент окончания работ по возведению. Массив из ТРАО имеет температуру ниже, чем значение естественной температуры пород вмещающих горную выработку (-5°С), что свидетельствует об устойчивости возведенного сооружения.

Предполагаемый способ захоронения ТРАО позволяет возводить могильник небольших размеров и не на полную высоту выработки с возможностью его периодического наращивания по мере необходимости. Подземный полигон достаточно хорошо защищен от внешних воздействий (выветривания, атмосферных осадков, солнечной радиации, пожаров), а также от возможных природных и техногенных катастроф. Мощная толща налегающих горных пород надежно защищает биоту от проникающего излучения. Проведенные работы по захоронению ТРАО, позволят упорядочить их учет и хранение, практически полностью исключат возможность хищения. По завершении строительства собственного могильника для захоронения радиоактивных отходов на территории РС (Я), ТРАО, находящиеся во временных подземных могильниках, могут быть перезахоронены в соответствии с существующими требованиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Патент* № 2134459 Российская Федерация, МПК[6] G 21 F 9/24. Способ захоронения твердых радиоактивных отходов в зоне многолетней мерзлоты / Киселев В.В., Хохолов Ю.А.; заявитель и патентообладатель ИГДС. - №97113864/25; заявл. 12.08.97; опубл. 10.08.99, Бюл. № 18.

2. *Киселев В.В., Бурцев И.С.* Ликвидация последствий аварийных подземных ядерных взрывов в зоне многолетней мерзлоты. - Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 1999. - 145 с.

3. *Необутов Г.Г., Гринев В.Г.* Разработка рудных месторождений с использованием замораживаемой закладки в условиях многолетней мерзлоты. - Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 1997. - 104 с.

4. *Мамонов А.Ф.* Взаимодействие вмещающих пород с закладочным массивом на россыпных шахтах Севера. - Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН,1999. - 154 с.

5. *Кадастр* подземных выработок на территории РС (Я), пригодных к повторному использованию для целей, не связанных с горным производством (ИГДС СО РАН, ГКЧС РС (Я), Якутский округ Гостехнадзора России) - М: ГУП ЦПП. - 1998. - 56 с.

6. *Самарский А.А.* Теория разностных схем. - М.: Наука, 1983. - 616 с.

7. *Самарский А.А., Моисеенко Б.Д.* Экономичная схема сквозного счета для многомерной задачи Стефана // Журнал вычислит. мат. и мат. физики. - 1965. - Т. 5, N 5. - С. 816-827.

8. *Самарский А.А., Вабищевич П.Н.* Вычислительная теплопередача. – М.: Едиториал УРСС, 2003. -784 с.

Коротко об авторах

Киселев В.В. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Хохолов Ю.А. - кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Каймонов М.В. - младший научный сотрудник,

Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, г. Якутск.

ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
УХТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ			
ХЕГАЙ Валерий Константинович	Управление динамикой бурильной колонны в направленных скважинах	25.00.15	д.т.н.
ВАГИН Владимир Александрович	Прогнозирование воздействия геоэкологических факторов на устойчивость магистральных газопроводов (на примере ООО «Севергазпром»)	25.00.16	к.т.н