УДК 621.039.75

С.П.МОЗЕР, *канд. техн. наук, доцент, mozer1@yandex.ru*
О.В.КОВАЛЕВ, *д-р. техн. наук, профессор, spggi4@mail.ru*
И.Ю.ТХОРИКОВ, *канд. техн. наук, научный сотрудник, spggi4@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

S.P.MOZER, *PhD in eng. sc., associate professor, mozer1@yandex.ru*
O.V.KOVALEV, *Dr. in eng. sc., professor, spggi4@mail.ru*
I.Y.THORIKOV, *PhD in eng. sc., research assistant, spggi4@mail.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫРАБОТАННЫХ ПРОСТРАНСТВ СОЛЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РОССИИ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Рост потребления энергии в мире вызывает потребность в увеличении мощностей имеющихся ядерных станций и строительстве новых. Радиоактивные отходы, получаемые при производстве электроэнергии, требуют высоконадежного захоронения. Одним из наиболее перспективных типов хранилищ являются подземные выработки в галогенных образованиях, создаваемые шахтным способом или подземным растворением через скважины с поверхности. Предложен новый подход к хранению и захоронению радиоактивных отходов в галогенных образованиях.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, галогенные образования, отверждение, хранение и захоронение, калийные и каменные соли.

UTILIZATION OF EXHAUSTED POTASH MINES IN RUSSIA AS REPOSITORIES FOR RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL

The growth in energy consumption demands increase in power output of the existing nuclear power plants and construction of the new ones. Radioactive waste requires high-reliable repositories to be disposed. One of the perspective types of the repositories is underground excavations in halogenous formations (created by underground mining or dissolution through boreholes from surface). The new method of radioactive waste disposal is offered in the paper.

Key words: radioactive waste, halogenous formations, solidification, storage and disposal, potash and rock salts.

Каждый способ производства и преобразования электрической энергии (сжигание угля, нефти, газа, ядерная энергетика и т.д.) оказывает влияние на окружающую среду и несет свойственные ему риски. Дальнейший рост потребления энергии неизбежен как за счет роста населения Земли (по прогнозам ряда ученых к 2020 г. – 7,5 млрд), так и за счет быстро возрастающих потребностей в питьевой воде во многих частях нашей планеты (например, в Северной Африке и странах Персидского залива), которые должны удовлетворяться развитием опреснительных систем. По целому ряду критериев на сегодняшний день ядерная энергия была и остается безопасным, доступным, а также экономичным источником электричества. За последние 50 лет ядерная энергия стала одним из главных источников электроэнергии в мире. Уже на 2000 г. вклад ядерной энер-

гетики в мировое производство электроэнергии составлял 16 % [5].

Развитие ядерной энергетики в ряде случаев сдерживается нерешенной окончательно проблемой образования и последующего накопления радиоактивных отходов (РАО). При этом такие отходы достаточно дифференцированы по условиям экологической безопасности, так как могут относиться к низко-, средне- либо высокоактивным (по содержанию в них радионуклидов) отходам.

В этой связи одним из самых перспективных и обоснованных направлений выбора изоляции РАО от биосферы в настоящее время является разработка способов их захоронения в недрах [2].

В качестве объектов захоронения в недрах рассмотрены различные массивы горных пород – от сформированных кристаллическими литотипами до глинистых (и иных) пород. Значительными позитивными характеристиками применительно к рассматриваемой проблеме обладают массивы пород галогенных образований (например таких как область соляного диапира Горлебен, ФРГ [2]). Очевидно, что одна лишь аппеляция к типу той или иной формации пород не может гарантировать обоснованного выбора конкретного массива горных пород в качестве безопасного могильника для захоронения РАО. Любой массив горных пород требует обстоятельного изучения комплекса геологических, гидрогеологических, физико-механических и некоторых иных факторов, а обобщение результатов полученных данных позволит мотивированно принять (либо отклонить) рассматриваемый массив в качестве объекта для проектных проработок по захоронению РАО. Отмеченное в полной мере относится и к галогенным образованиям.

Широкое распространение на территории России месторождений каменной и калийной солей, потенциально пригодных для захоронения радиоактивных отходов (количество которых может быть оценено в несколько десятков), позволит создать в будущем систему региональных и централизованных подземных хранилищ РАО.

Среди наиболее крупных месторождений каменной соли, эксплуатируемых в настоящее время, можно выделить: Новомосковское (Тула), Соль-Илецкое (Соль-Илецк), Светлогорское (Волгоград), Яр-Бишкадакское (Башкортостан), а также месторождения Восточно-Сибирского соленосного бассейна, площадь которого составляет более 680 тыс.км^2 В дополнение к более широкому перечню хорошо известных соляных месторождений следует указать Хатангский (Северо-Сибирский) соленосный бассейн (мощность соляной залежи более 500 м в районе Нордвика, глубина залегания 140-300 м) и Верхнепечорский соленосный бассейн (мощность соляной залежи более 300 м, глубина залегания от 200 м и более), а также соляные формации в районе Кочмеса (Инта) и на севере Канинского п-ова.

Хранение радиоактивных отходов преследует как минимум две цели: изолировать отходы от окружающей среды до создания и пуска установок по более надежной локализации (отверждению), либо выдержать РАО до их распада. С точки зрения второй цели захоронение в устойчивые галогенные формации является наиболее надежным и безопасным способом [2]. Соляные формации России, ввиду их широкого распространения, позволят удовлетворить спрос на хранилища такого рода отходов на длительный срок.

По сложившейся мировой практике захоронения радиоактивных отходов используют принцип «мультибарьера». Все отходы отверждают и упаковывают в стальные резервуары с последующим размещением этих резервуаров в подземных геологических структурах. При этом операция отверждения и упаковки является одной из самых дорогостоящих, а срок непрерывного хранения РАО в данных контейнерах не превышает 20 лет.

Для устранения указанных недостатков без снижения надежности хранения отходов в Санкт-Петербургском горном институте был разработан ряд конкурентоспособных вариантов.

Для захоронения отходов предполагается использовать выработки соляных рудников, находящихся на стадии доработки запасов. При этом заполнение РАО камер данных предприятий позволит позитивно сохранить напряженно-деформированное состояние мас-

сива и гарантировать его длительную устойчивость, учитывая при этом требования экологической безопасности.

Процесс создания закладочного массива может производиться двумя способами:

• если закладочный массив имеет температуру выше температуры плавления кристаллогидрата, то замкнутое закладочное пространство может быть заполнено гранулами кристаллогидрата; при этом происходит плавление соли в собственной кристаллизационной воде, превращающейся в расплав (жидкий раствор) и заполняющей сформированное замкнутое пространство;

• заполнение формы (закладочного массива) предварительно приготовленным жидким расплавом или полурасплавленной пульпой данного кристаллогидрата; при охлаждении весь объем расплава превращается в твердый кристаллогидрат.

Для обеспечения контроля за состоянием массива предполагается создание сети мониторинга состояния ответственных элементов массива горных пород. При использовании в качестве хранилищ выработок калийных рудников может использоваться метод неразрушающего контроля [4].

Параметры устойчивости всех ответственных элементов массива, прежде всего водозащитной толщи, необходимо исследовать методами горной геомеханики [3] с применением численных решений (методы конечных элементов, методы граничных элементов, методы конечных разностей) непосредственно при оценке возможности использования выработок данного соляного рудника для захоронения радиоактивных отходов. При этом особое внимание следует уделить возможному изменению напряженно-деформированного состояния во времени с учетом аспектов, изложенных в [1]. Также необходимо учесть состояние массива горных пород при наличии влияющих друг на друга пластов.

Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы РФ «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Внешние воздействия природного происхождения на глубинные захоронения долгоживущих радиоактивных отходов / И.В.Калиберда, А.Г.Левин, Д.В.Мурлис, А.А.Сметник, С.Г.Цыпин, Р.Б.Шарафутдинов // Атомная техника за рубежом. 2003. № 2.

2. *Кочкин Б.Т.* Геоэкологический подход к выбору районов захоронения радиоактивных отходов. М.: Наука, 2005.

3. *Мозер С.П.* Горная геомеханика: физические основы и закономерности проявлений геомеханических процессов при подземной разработке месторождений / С.П.Мозер, Е.Б.Куртуков. СПб: Недра, 2009.

4. Патент РФ № 2300789. Способ контроля состояния водозащитной толщи на месторождениях калийных солей / О.В.Ковалев, Ю.В.Шувалов, И.Ю.Тхориков, С.П.Мозер, Г.А.Трощиненко; Опубл. 10.06.2007. Бюл. № 16.

5. *Ian Hore Lacy.* Nuclear Electricity / Sixth edition. 2000.

REFERENCES

1. *Kaliberda I.V., Levin A.G., Murlis D.V., Smetnik A.A., Tsypin S.G., Sharafutdinov R.B.* External action of the natural occurrence on the deep storages of the long-lived nuclear wastes // Nuclear equipment abroad. 2003. N 2.

2. *Kochkin B.T.* Geoecological approach to selection of the nuclear disposal areas. Moscow: Nauka, 2005.

3. *Mozer S.P., Kurtukov E.B.* Rock mechanics: basic physics and mechanism of occurrence of geomechanical processes in underground mining. Saint Petersburg: Nedra, 2009.

4. Patent of Rus.Fed. N 2300789. Method of monitoring of the state of the impermeable strata at the potash deposits / O.V.Kovalev, Y.V.Shuvalov, I.Y.Thorikov, S.P.Mozer, G.A.Troschinenko; 10.06.2007. N 16.

5. *Ian Hore Lacy.* Nuclear Electricity / Sixth edition. 2000.