

О.В.КОВАЛЕВ, *д-р техн. наук, профессор, spggi4@mail.ru*
С.П.МОЗЕР, *канд. техн. наук, доцент, mozer1@yandex.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

O.V.KOVALEV, *Dr. in eng. sc., professor, spggi4@mail.ru*
S.P.MOZER, *PhD in eng. sc., associate professor, mozer1@yandex.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ СОЛЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Рассмотрены основные аспекты размещения отходов в подземном пространстве. Проанализированы ключевые проблемы изоляции отходов в выработках соляных месторождений. Предложена технология размещения отходов, основанная на использовании для иммобилизации отходов природных минеральных солей.

Ключевые слова: подземные выработки, соляные месторождения, размещение отходов, искусственные соляные формации, технология, эффективность.

WAYS OF IMPROVING WASTE DISPOSAL IN THE WORKINGS OF SALT MINES

Address the major aspects of waste disposal in underground space. Are key problems of isolation of wastes in underground salt deposits? Proposed waste disposal technology, based on the use of waste for immobilization of natural mineral salts.

Key words: underground workings, salt deposits, waste disposal, manmade salt formations, technology and efficiency.

Исследователи всего мира сошлись во мнении, что использование подземного пространства является одним из лучших решений для долговременного хранения или захоронения различного рода отходов. Например, только в Германии функционируют более 30 предприятий по размещению отходов в подземных выработках.

Оценка возможности создания подземного хранилища, как правило, идет по следующей схеме: выбор объекта, пригодного для размещения отходов, его геологическая оценка, разработка принципиальной схемы подземного хранилища, выбор типа упаковки для хранения отходов, изолирующих материалов, а также системы транспортировки отходов от места образования до потенциального хранилища.

С учетом возможной переработки отходов можно выделить, как минимум, два принципиально отличающихся друг от друга направления размещения отходов: «вечное» захоронение и хранение с возможным последующим извлечением для переработки (рис.1). В первом случае отходы выдерживают в хранилище до момента их распада на безопасные для биосферы составляющие, во втором – отходы изолируют от окружающей среды до момента создания и пуска установок по их переработке.

Проведенный обзор технологических схем изоляции отходов в горных выработках показал, что практически все они являются весьма трудоемкими и энергозатратными. Дальнейшие исследования и техниче-

ские проработки в области размещения отходов должны решать следующие задачи:

– исключение привязки мест изоляции отходов к определенным географическим районам и литотипам горных пород;

– снижение энергоемкости процесса отверждения отходов;

– упрощение операций обращения с отходами в части отверждения, транспортировки и укладки отходов в хранилища.

Рассмотрим возможные варианты решения данных задач с использованием выработок соледобывающих предприятий. Соляные месторождения России, ввиду их широкого распространения, позволят удовлетворить спрос на хранилища различного рода отходов на длительный срок, а широкое распространение на территории России месторождений каменной соли, потенциально пригодных для захоронения различного рода отходов, позволит создать в будущем систему региональных и централизованных подземных хранилищ [2]. Среди наиболее крупных месторождений каменной соли, эксплуатируемых в настоящее время, можно выделить: Новомосковское (г.Тула), Илецкое (г.Соль-Илецк), Светлогорское (г.Волгоград), Яр-Бишкадакское (Башкирия), а также месторождения Восточно-Сибирского соленосного бассейна, площадь которого составляет более 680 тыс.км². 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), 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 полуострова [1, 3].

При использовании выработок соляных шахт на первом этапе отходы необходимо разделить на подлежащие краткосрочному или временному хранению, а также предназначенные для «вечной» изоляции (рис.2). При этом отходы, хранение которых пред-

полагается в течение короткого промежутка времени, целесообразно размещать в поверхностных (приповерхностных) хранилищах, все остальные отходы – в подземных выработках. На данном этапе необходимо выбрать тип выработок с точки зрения их устойчивости для обеспечения минимальных затрат на извлечение отходов с целью последующей переработки. Временное хранение можно осуществлять как в поверхностных, так и в подземных хранилищах, при этом подземное хранение предполагает использование только устойчивых горных выработок (оценка устойчивости выработок изложена в работах [1-3, 6]). При закачке жидких отходов в камеры подземного растворения для временного хранения их отверждение представляется нецелесообразным, так как в случае отверждения извлечение будет, скорее всего, невозможным. Отверждение жидких отходов необходимо при размещении отходов на постоянное хранение.

Для решения перечисленных выше задач размещения отходов разработана принципиально новая концепция [4, 5]. Основное и принципиальное отличие разработанной концепции заключается в том, что хранение и (или) захоронение отходов предусматривает как использование природных (геологических) месторождений каменной соли, так и создание техногенных (искусственных) соляных формаций.

Искусственные соляные формации представляют собой композиции химического твердения минеральных солей (рис.3) и могут быть использованы при сооружении как приповерхностных могильников, так и подземных хранилищ в горных выработках [4, 5]. К основным преимуществам сооружения хранилищ или могильников отходов в виде искусственных соляных формаций относятся: возможность изоляции отходов в различных регионах; обеспечение длительного хранения отходов вблизи или непосредственно в районе производства отходов; простота технологии и воспроизводимость свойств наполнителя матрицы, содержащей отходы; возможность извлечения отходов из матрицы при минимальных затратах.

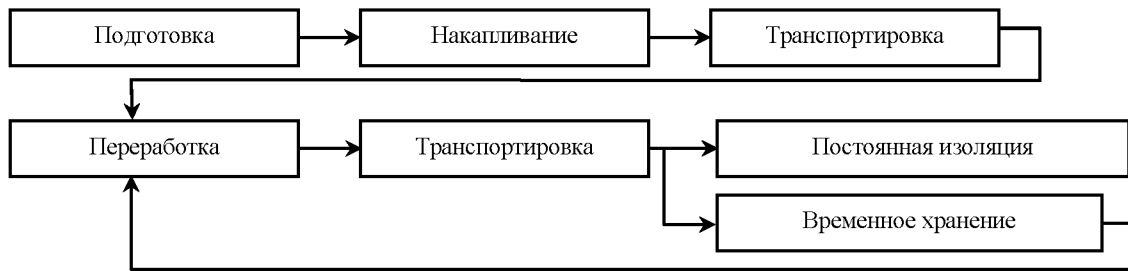


Рис.1. Принципиальная схема обращения с отходами

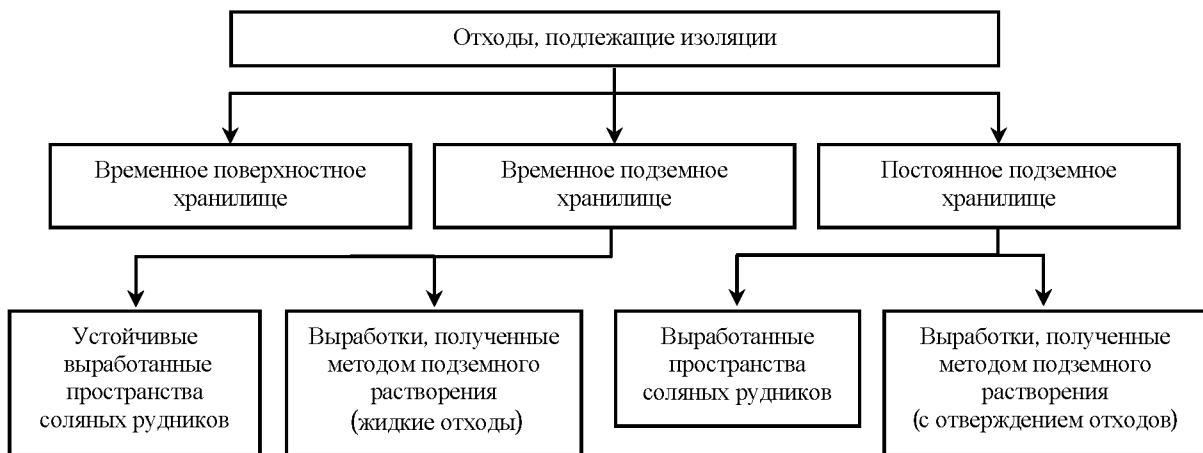


Рис.2. Схема разделения отходов по типам хранилищ и выработок

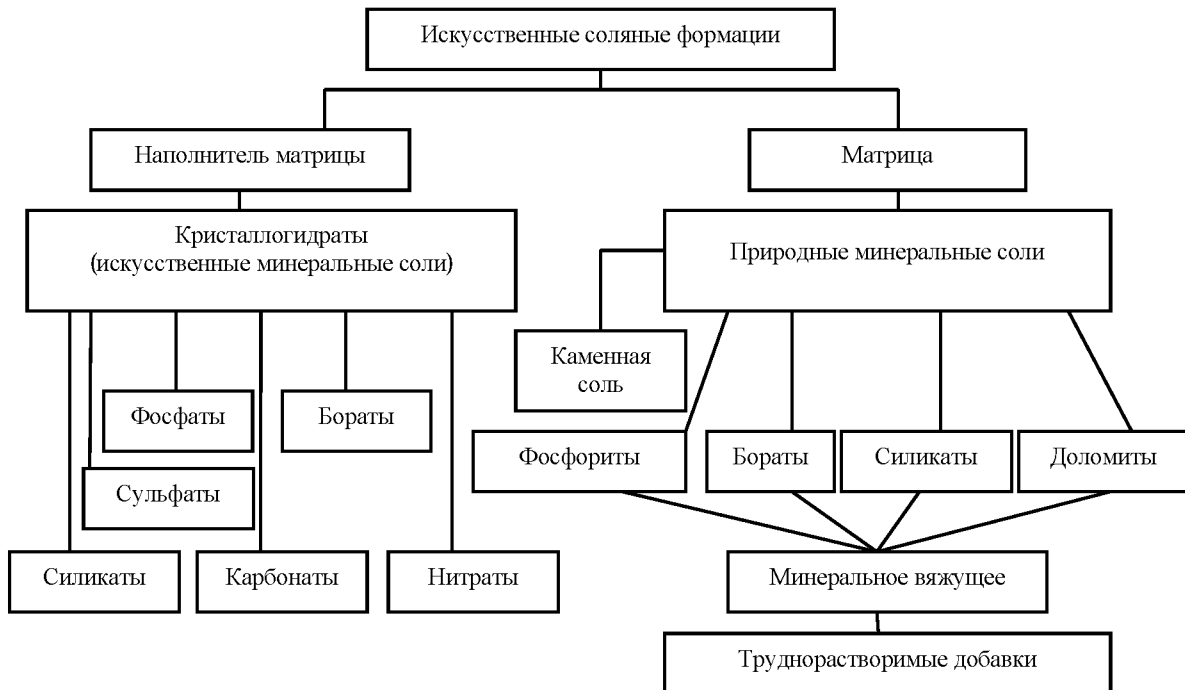


Рис.3. Типы кристаллогидратов, пригодных для создания искусственных соляных формаций или отверждения отходов

Разработанная технология формирования искусственных соляных формаций пригодна для изоляции крупногабаритных объектов при их длительном хранении, а также для работ с радиоактивными отходами, в том числе в пределах жилищной застройки крупных городов.

В качестве наполнителя матриц для отверждения отходов в разработанной технологии используются минеральные соли, обладающие фазовыми превращениями (твердое-жидкое) в интервале температур 20-122 °С. Этим критериям соответствует целый класс соединений (фосфаты, бораты, силикаты, сульфаты, нитраты), позволяющих использовать их тепловые и физико-химические свойства для быстрой и многократно воспроизводимой изоляции жидких и твердых отходов.

Используемые химические соединения (одно или несколько) нагревают до температуры их плавления и далее заливают в матрицу, в которой предварительно размещены твердые или жидкие отходы. При охлаждении весь объем расплава превращается в прочный соляной блок. При необходимости возможна выемка блока из формы благодаря вторичному частичному плавлению. Минеральная соль, используемая в качестве наполнителя матрицы, подбирается таким образом, чтобы температура ее плавления превышала температуру изолируемого источника тепла.

Данный класс неорганических соединений (рис.3), способных образовывать кристаллогидраты, может быть использован и для перевода жидких радиоактивных отходов в твердое состояние в виде искусственных соляных блоков. При этом безводные минеральные соли поглощают по массе от 50 % и более жидких отходов с образованием твердых кристаллогидратов.

При использовании разработанной технологии для создания поверхностного или приповерхностного хранилища для возведения его стенок, днища и верхнего перекрытия предлагается использовать композиции химического отверждения природного сырья, минерального вяжущего и добавок, образующих труднорастворимые соли, способ-

ствующие уменьшению скорости выщелачивания радионуклидов из отвержденного монолита. Материал матрицы готовится в результате механического смешения компонентов композиции. В результате отверждения массы в течение 3-8 ч образуется монолит, имитирующий месторождение природных минеральных солей со всеми природными свойствами. Изготовив из такого материала стенки могильника и заполнив его блоками данного материала с отходами, можно создавать искусственные месторождения природных солей, в которых равномерно распределены химически связанные отходы или любые другие отходы.

Литье блоков из кристаллогидратов для их отверждения перед транспортировкой заключается в заполнении формы жидким расплавом или полурасплавленной пульпой данного кристаллогидрата. Литье особенно упрощается в случае стабильного (при некотором перегреве) плавления кристаллогидрата в собственной кристаллизационной воде, т.е. при образовании расплава того же состава, что и твердый кристаллогидрат (без выделения низшего кристаллогидрата или безводной соли). При охлаждении весь объем расплава превращается в твердый кристаллогидрат (агрегат кристаллов) без осложнения, которое может возникнуть при обратной гидратации низшего кристаллогидрата или безводной формы.

Вариант полурасплавленной массы кристаллогидрата указанного свойства не вносит осложнений, так как после заполнения формы текучей массой пульпы картина образования кристаллогидрата подобна заключительной стадии отвердевания истинного расплава: отвердевание происходит в межкристаллических порах, состав межкристаллического расплава идентичен составу твердых кристаллов.

Форма, в которую заливают расплав кристаллогидрата, может быть разборной или иметь рубашку для циркуляции охлаждающей воды на стадии отвердевания или пара на стадии выемки блока из формы. Форма может иметь систему трубчатых вставок для создания системы каналов в отвердевшем блоке.

Выемка блока из формы при подогреве осуществляется благодаря вторичному частичному плавлению кристаллогидрата в тонком контактном слое на границе форма – блок.

Разработанная технология позволяет повысить безопасность:

– транспортировки отходов за счет их отверждения непосредственно в месте образования;

– временного хранения отходов за счет расположения в материалах, поглощающих вредные и опасные вещества;

– размещения отходов по геомеханическим и гидрогеологическим факторам.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ковалев О.В.* Горно-геомеханические критерии безопасности размещения отходов в горных выработках / О.В.Ковалев, С.П.Мозер, И.Ю.Тхориков. СПб: Недра, 2012. 232 с.

2. *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. 136 с.

3. *Мозер С.П.* Использование выработанных пространств соляных месторождений России для хранения радиоактивных отходов / С.П.Мозер, О.В.Ковалев, И.Ю.Тхориков // Зап. Горного института. 2011. Т.190. С.105-107.

4. Пат. 2416832 РФ, МПК G21F9/16. Метод отверждения радиоактивных и других видов опасных отходов / О.В.Ковалев, С.П.Мозер, И.Ю.Тхориков, Н.Е.Шестаков,

К.А.Бондарев. 2009123557/07; заявл. 19.06.2009; опубл. 20.04.2011. Бюл. № 11. 19 с.

5. Пат. 2417466 РФ, МПК G21F9/24. Хранилище отходов / О.В.Ковалев, С.П.Мозер, И.Ю.Тхориков, Н.Е.Шестаков. 2009146695/07; заявл. 15.12.2009; опубл. 27.04.2011. Бюл. № 12. 10 с.

6. Прикладные аспекты изучения механических процессов в массивах при подземной разработке месторождений полезных ископаемых / О.В.Ковалев, С.П.Мозер, И.Ю.Тхориков, Е.Б.Куртуков, Е.Р.Ковальский. СПб: Недра, 2011. 167 с.

REFERENCES

1. *Kovalev O.V., Moser S.P., Thorikov I.Yu.* Mining and geomechanical safety criteria of waste disposal in underground mine workings. Saint Petersburg: Nedra, 2012, 232 p.

2. *Moser S.P., Kurtukov E.B.* Rock mechanics: basic physics and mechanism occurrence of geomechanical processes in underground mining. Saint Petersburg: Nedra, 2009. 136 p.

3. *Moser S.P., Kovalev O.V., Thorikov I.Yu.* The use of worked-out areas of salt deposits in Russia for the storage of radioactive waste // Proceedings of the Mining Institute. 2011. Vol.190. P.105-107.

4. RF Pat. 2416832, Int. Cl. G21F9/16. Method of solidifying radioactive wastes and other types of dangerous wastes / O.V.Kovalev, N.E.Shestakov, S.P.Moser, I.Yu.Thorikov, K.A.Bondarev. 2009123557/07; date of filing: 19.06.2009; date of publication 20.04.2011. Bull. N 11. 19 p.

5. RF Pat. 2417466, Int. Cl. G21F9/24. Storage of wastes / O.V.Kovalev, S.P.Moser, I.Yu.Thorikov, N.E.Shestakov. 2009146695/07; date of filing 15.12.2009; date of publication 27.04.2011. Bull. N 12. 10 p.

6. *Kovalev O.V., Moser S.P., Thorikov I.Yu., Kurtukov E.B., Kowalsky E.R.* Applicative aspects of studies of mechanical processes in rock strata in underground mining. Saint Petersburg: Nedra, 2011. 167 p.