УДК 622.00

ТЕХНОЛОГИЯ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ НЕТРАДИЦИОННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Г.А.ХОЛОДНЯКОВ, *д-р техн. наук*, *профессор*, *verahol@bk.ru*
К.Р.АРГИМБАЕВ, *канд. техн. наук*, *ассистент*, *diamond-arg@mail.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «*Горный*», *Санкт-Петербург*, *Россия*

В настоящее время большинство месторождений успешно эксплуатируются горно-добывающими предприятиями с использованием традиционной выемочно-погрузочной техники. Как правило, на таких месторождениях добываются и извлекаются привычные для нас металлы, строительные материалы и т.д. Время диктует новые требования к свойствам металлов для создания нового вида техники. Эти металлы залегают в нетрадиционных для нас местах, либо находятся в техногенных месторождениях (отвалы вскрышных пород, хвостохранилища и т.д.) или труднодоступных природных образованиях. К таким уникальным открытиям можно отнести техногенные месторождения хвостохранилища Качканарского горно-обогатительного комбината, которые содержат дорогостоящие металлы (скандий, галлий, стронций, титан) и природное месторождение – месторождение рения, находящееся в кратере действующего вулкана. Рассмотрена возможность открытой разработки крупнейшего ренийсодержащего месторождения со сложными условиями залегания. Приведены замеры температуры вмещающих пород и схема температурных полей на отдельном участке и всем месторождении. Рассмотрена технология открытой разработки первоочередного участка отработки, а также перспективные способы подготовки горных пород к выемке, которые можно применить на данном месторождении.

***Ключевые слова**:* температурные поля, технология открытой разработки, фумарольные газы, рабочая площадка, подготовка пород к выемке, выемочно-погрузочные работы, модель.

Нетрадиционные способы разработки месторождений полезных ископаемых являются важным направлением развития горно-добывающей промышленности, которое будет способствовать появлению нового вида техники, их эксплуатация также требует нетрадиционного подхода [2, 3, 8, 9].

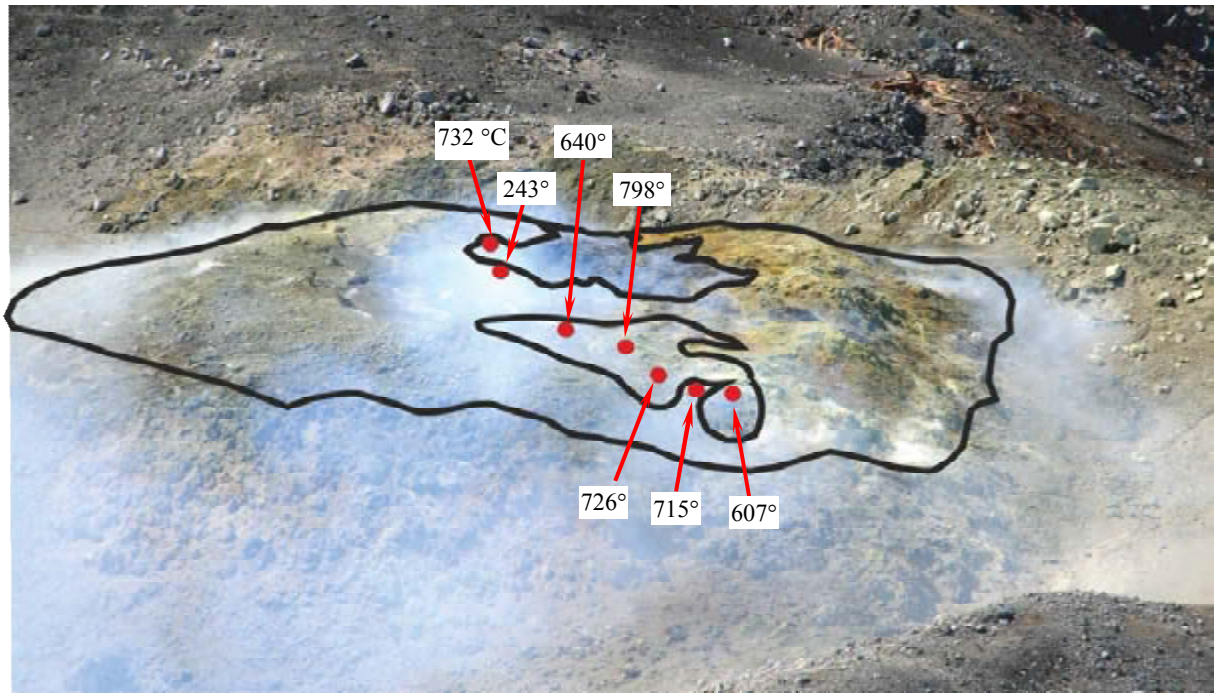
В ходе исследования нами был проведен ряд экспериментов по изучению рениевого месторождения, находящегося в кратере вулкана, с использованием современного оборудования: топографической съемки, замера температурных режимов поверхности, а также отбора ряда проб для изучения физико-механических свойств породы [3]. Камеральная обработка производилась с помощью автоматизированных комплексов расчета и моделирования [4-6].



Рис.1. Отложения серы на открытой поверхности

Месторождение рения, обнаруженное в кратере вулкана, является уникальным в своем роде. Образование металла рения на поверхности происходит при температуре 300-900 °С. Это месторождение является также источником попутных полезных ископаемых, таких как молибден и сера. Отложения серы наблюдались на открытой поверхности (рис.1).

а



б

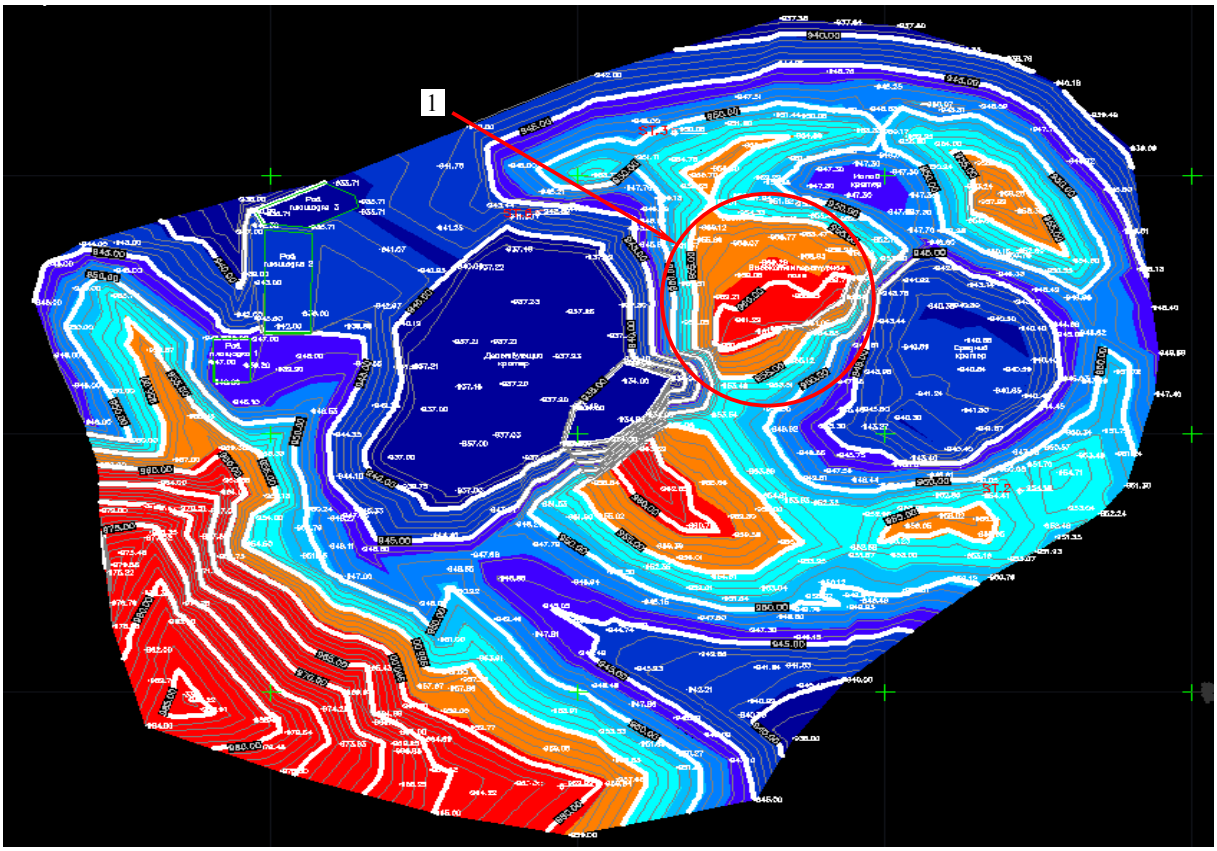


Рис.2. Поверхность ренийсодержащего месторождения: *а* – схема геотермального поля исследуемого участка; *б* – температурная модель (1 – исследуемый участок для первоочередного вовлечения в разработку)

Разработка такого месторождения осложнена, прежде всего, трудными климатическими, высотными, температурными условиями, слабой видимостью из-за огромного количества выделяющихся фумарольных газов, которые приводят к воспламенению и тлению серы.

По профилю отдельных участков нами были произведены замеры температуры вмещающих пород и построена схема геотермальных полей на одном из участков, а также сделана модель поверхности разрабатываемого месторождения (рис.2).

Из рисунка видно, что разрушение горных пород при высоких температурах невозможно осуществлять традиционным буровзрывным способом, гидромолотами, виброустановками, а также механическими комбайнами.

Присутствие металлов рения и молибдена в горной породе, а также условия высоких термонапряжений из-за фумарольных газов, требует наиболее эффективного – электрического способа разрушения горных пород.

Нами была предложена технология разработки, которая предусматривает предварительное послойное рыхление электротермической установкой, а также доразрыхление рыхлителем на заданную глубину. После выемки горной массы рабочее оборудование заменяют на емкость в виде ковша, позволяющую укладывать абсорбер по периметру всего участка с целью насыщения полезным компонентом (рис.3).

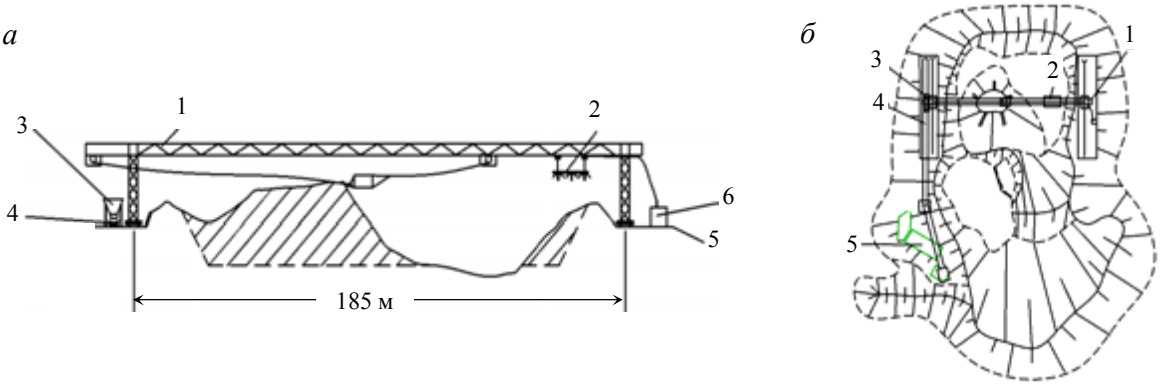


Рис.3. Технологическая схема разработки с помощью модернизированного скрепера: *а* – поперечный вид; *б* – вид в плане

1 – модернизированный скрепер с подвесной электротермической установкой; 2 – электротермическая установка; 3 – передвижной бункер; 4 – конвейер; 5 – рабочая площадка с перегрузкой породы; 6 – генератор энергии

В комплект выемочно-рыхлительного оборудования входят две кинематические связанные скреперные лебедки и электротермическая установка (рис.4).

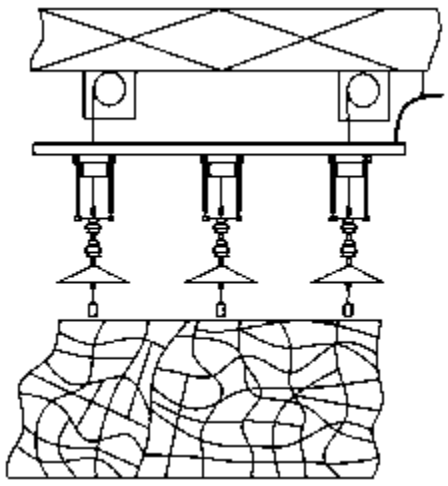


Рис.4. Рабочий орган электротермической установки

Лебедки устанавливаются на кран-балке, передвигающейся по рельсам широкой колеи на противоположных сторонах вулкана. Лебедочная пара оснащается скреперным ковшом емкостью 2-4 м^3 и при необходимости рыхлителем. При этом их одновременное движение осуществляется в противоположном направлении. Конструкция лебедок позволяет осуществлять прием и разгрузку вынимаемой массы в передвижной бункер, располагаемый на откосе вулкана.

В основе электротермического метода разрушения скальных пород лежит создание неравномерного распределения температуры в их объеме. В результате этого образуется твердое рабочее тело, разрушающее породу. При этом



Рис.5. Классификация электрических способов разрушения горных пород

можно использовать самые разнообразные источники энергии: сверхвысокочастотное излучение, ток высокой и промышленной частоты, инфракрасное излучение и корпускулярные лучи.

По агрегатному состоянию рабочего тела можно классифицировать электрические методы разрушения пород на электротермические, электродинамические и комбинированные (рис.5). Особенностью выгодно отличающей установки с использованием электрического метода разрушения является простота исполнительного органа, посредством которого энергия подводится к породе.

Во всех описанных способах разрушение горных пород происходит за счет разного температурного режима, создаваемого твердым рабочим телом. Рабочее тело отдает часть своего тепла окружающей породе и атмосфере. При этом потери энергии пропорциональны времени. В результате этого энергоемкость процесса разрушения должна быть тем больше, чем больше время разрушения, т.е. чем меньше производительность.

Проанализировать процесс разрушения можно с помощью слагаемого, отражающего затраты энергии на образование новой поверхности [1]:

$$P_t = A_p + \int_{T_0}^{T_к} m_1 C_{v_1} dT + q_1 m_1 + \int_{v}^{t} \lambda_1 S_1 \frac{dT_1}{dR} dt + \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 ,$$

где P_t – энергия, подводимая от источника; A_p – работа, затрачиваемая на образование новой поверхности; $\int_{T_0}^{T_к} m_1 C_{v_1} dT$ – энергия, идущая на нагрев рабочего тела; $q_1 m_1$ – энергия, идущая на фазовые переходы; $\int_{v}^{t} \lambda_1 S_1 \frac{dT_1}{dR} dt$ – энергия, передаваемая рабочим телом в окружающую породу за счет теплопроводности; ω_1 – энергия, идущая на нагрев рабочего органа; ω_2 – энергия, передаваемая рабочим органом в атмосферу; ω_3 – энергия, теряемая рабочим телом за счет потери своей массы; m_1 – масса рабочего тела; C_{v_1} – теплоемкость рабочего

тела, усредненная по агрегатным состояниям; S_1 – внутренняя поверхность рабочего тела; λ_1 –коэффициент теплопроводности породы; q_1 – удельная теплота фазовых переходов; dT_1 / dR – градиент температуры в породе.

Из приведенного выражения видно, что снизить энергоемкость разрушения и увеличить его КПД можно путем уменьшения объема рабочего тела, следовательно, его массы и боковой поверхности, а также времени ввода в него энергии. Следует отметить, что энергию, передаваемую в породу за счет теплопроводности, идущей на нагрев рабочего органа и затем в атмосферу, можно свести практически к нулю, а энергию, затрачиваемую на нагрев рабочего тела и фазовые переходы, необходимо поддерживать на определенном уровне, так как давление, оказываемое рабочим телом на породу, пропорционально введенной в него энергии. Уменьшение массы рабочего тела повлечет за собой снижение его поверхности, которая является составляющей поверхности породы. Поэтому, чтобы усилие, развиваемое рабочим телом, не изменилось, необходимо увеличить его температуру. Это можно сделать при помощи высоковольтного разряда, концентрируя энергию в ограниченном объеме породы. Другие способы разрушения горных пород высококонцентрированными потоками энергии (разрушение электронным лучом или лазером) не обеспечивают температур, достаточных для разрушения больших объемов пород за микросекундные отрезки времени.

С технологической точки зрения создание условий разрушения породы за малые промежутки времени приводит сразу к двум положительным эффектам: снижению энергоемкости за счет уменьшения потерь и увеличению производительности за счет снижения времени разрушения. Температура пород в кратере вулкана близка к температурному диапазону разрушения. Это свидетельствует о том, что электрический способ является наиболее эффективным.

Следовательно, принципиальная электрическая схема установки по разрушению горных пород должна состоят из силовой высоковольтной цепи, цепи управления и защиты (рис.6).

Высоковольтная цепь установки состоит из высоковольтного трансформатора, выпрямителя, конденсаторной батареи, коммутирующего устройства и исполнительного органа. Низковольтная цепь представляет собой электрическую схему, обеспечивающую автоматический и операторный режим управления. Установка оборудована блокировками от перегрузок электрического оборудования и средствами защиты обслуживающего персонала от возможного разлета мелких кусочков породы. Установки дробления скальных пород током промышленной частоты просты по конструкции и дешевы.

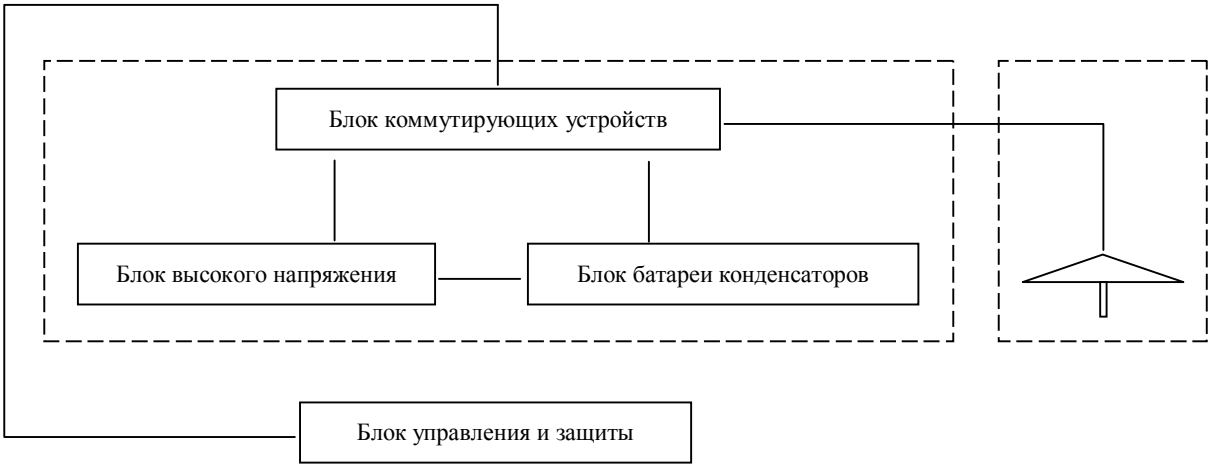


Рис.6. Блок-схема установки электрического способа разрушения горных пород

Напряжение, при котором происходит пробой, зависит от условий опыта, свойств породы, характеристик источника напряжения.

Для изучения эффективности электрического способа необходимо проведение исследования пробоя больших толщин горных пород в электрическом поле частотой 50 Гц на данном месторождении рения; вольт-амперных характеристик горной породы в больших толщинах; определение зависимости пробивного напряжения от расстояния между электродами и от сопротивления породы, а также времени пробоя и его дисперсии.

Таким образом, предлагаемая нами технология открытой разработки нетрадиционного месторождения, находящегося в кратере действующего вулкана, позволит получить собственный редкий металл, новые сплавы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наночастицы в процессах разрушения и вскрытия геоматериалов / В.А.Чантурия, К.Н.Трубецкой, С.Д.Викторов, И.Ж.Бунин / ИПКОН РАН. М., 2006. 216 с.
2. Основные направления развития проектирования открытых горных работ в XXI в. / Г.А.Холодняков, К.Р.Аргимбаев, Д.А.Иконников, О.Е.Русак // Открытые горные работы в XXI в.: Сб. тр. междунар. научно-практической конф. Красноярск, 2011. С.173-176.
3. Техногенные минеральные частицы как проблема освоения недр / К.Н.Трубецкой, С.Д.Викторов, Ю.П.Галченко, В.Н.Одинцев // Вестник РАН. 2006. Т.76. № 4. С.318-332.
4. *Фомин С.И.* Риск как аналитический метод для проекта открытых горных работ / С.И.Фомин, Г.А.Холодняков // Горные работы и обогащение / Горно-геологический университет им. Св. Ивана Рыльского. София, 2010. № 55. С.23-28.
5. *Фомин С.И.* Оценка параметров открытых горных работ на предварительной стадии проектирования / С.И.Фомин, Г.А.Холодняков // Научные доклады по недрам / Горная академия. Фрайберг, 2012. Т.1. С. 382-386.
6. *Холодняков Г.А.* Проектирование карьеров при разработке комплексных месторождений / Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб, 2013. 192 с.
7. *Холодняков Г.А.* Определение физико-механических свойств пород / Г.А.Холодняков, К.Р.Аргимбаев // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. Т.5. С.93-98.
8. United states department of the interior, Bureau of Mines. RCRA regulation impact on Alaska Mineral Development-Tailings Management / Ed. by R.Steffen, I.Kirsten. Denver. Colorado, 2010. P.100-110.
9. *Williams M*. Tailing dam failure case history. Proceedings: 2nd Int. Tailing Symp. San Francisco, 2009. P. 428-433.

REFERENCES

1. *Chanturija V.A.*, *Trubeckoj K.N.*, *Viktorov S.D.*, *Bunin I.Zh.* Nanochasticy v processah razrushenija i vskrytija geomaterialov (*The nanoparticles in destruction and geomaterials opening processes*). IPKON RAN. Moscow, 2006, p.216.
2. *Holodnjakov G.A.*, *Argimbaev K.R.*, *Ikonnikov D.A.*, *Rusak O.E.* Osnovnye napravlenija razvitija proektirovanija otkrytyh gornyh rabot v XXI v. (*The main directions for open cast mine design engineering development in the xxi century*). Otkrytye gornye raboty v XXI v.: Sb. tr. mezhdunar. nauchno-prakticheskoj konf. Krasnojarsk, 2011, p.173-176.
3. *Trubeckoj K.N.*, *Viktorov S.D.*, *Galchenko Ju.P.*, *Odincev V.N.* Tehnogennye mineral'nye chasticy kak problema osvoenija nedr (*Manmade mineral particles as a problem of mineral resources development*). Vestnik RAN. 2006. Vol.76. N 4, p.318-332.
4. *Fomin S.I.*, *Holodnjakov G.A.* Risk kak analiticheskij metod dlja proekta otkrytyh gornyh rabot (*Risk as an analytical technique for opencast mining engineering*). Gornye raboty i obogashhenie. Gorno-geologicheskij universitet im. Sv. Ivana Ril'skogo. Sofija, 2010. N 55, p.23-28.
5. *Fomin S.I.*, *Holodnjakov G.A.* Ocenka parametrov otkrytyh gornyh rabot na predvaritel'noj stadii proektirovanija (*Opencast mining parameters evaluation at a preliminary stage of mining development*). Nauchnye doklady po nedram / Gornaja akademija. Frajberg, 2012. Vol.1, p.382-386.
6. *Holodnjakov G.A.* Proektirovanie kar'erov pri razrabotke kompleksnyh mestorozhdenij (*Open cast mining design engineering for complex deposit development*). Nacional'nyj mineral'no-syr'evoj universitet «Gornyj». St Petersburg, 2013, p.192.
7. *Holodnjakov G.A.*, *Argimbaev K.R.* Opredelenie fiziko-mehanicheskih svojstv porod (*Physical and mechanical properties determination*). Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'. 2011. Vol.5, p.93-98.
8. United states department of the interior, Bureau of Mines. RCRA regulation impact on Alaska Mineral Development-Tailings Management / Ed. by R.Steffen, I.Kirsten. Denver. Colorado, 2010, p.100-110.
9. *Williams M*. Tailing dam failure case history. Proceedings: 2nd Int. Tailing Symp. San Francisco, 2009, p.428-433.

OPEN MINING TECHNIQUE FOR UNCONVENTIONAL MINERAL DEPOSITS

G.A.KHOLODNYAKOV, *Dr. of Engineering Sciences*, *Professor*, *verahol@bk.ru*
K.R.ARGIMBAEV, *PhD in Engineering Sciences*, *Assistant Lecturer, diamond-arg@mail.ru*
National Mineral Resources University (*Mining University*), *St Petersburg*, *Russia*

Nowadays the majority of deposits are successfully exploiting by mining enterprises with the help of traditional excavation and loading equipment. Typically, metals, construction materials, etc. are mined and extracted on these deposits, but modern society is progressing and producing new requirements to metals properties for creating a new type of equipment. The metals with new properties are located in unconventional areas: either in technogenic deposits (overburden dumps, tailings, etc.) or in hard-to-get natural formations. Technogenic mines, being a tailing of Kachkanarsky mining and processing plant, are referred to such unique deposits, which have expensive metals (scandium, gallium, strontium, titanium), as well as the natural deposit – rhenium deposit, located in the crater of an active volcano. Potentialities of open mining in the largest rhenium deposit with complex environmental occurrence have been analyzed in the paper. Temperature measurement results of adjacent strata and a temperature scheme of the host rocks on a separate site and the entire field have been presented. An open mining technique for a primary mining area as well as perspective methods of rock preparation for excavation, applicable to this particular deposit, has been considered.

Key words: temperature fields, open mining technique, fumarole gases, site, rock preparation for excavation, excavation and loading operations, model.