

УДК 622.7

DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-3-31-37

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ МЕЛКИХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НАГОРНОГО ТИПА

IMPROVEMENT OF SMALL ORE FIELDS DEVELOPMENT OF MOUNTAIN TYPE

*Г. Г. Пирогов, Забайкальский государственный университет, г. Чита
pirogov.chita@mail.ru*

G. Pirogov, Transbaikal State University, Chita



Отмечено, что разработку месторождений цветных металлов часто осуществляют в гористой местности с относительными отметками до 500...700 м. Рудные поля включают мелкие месторождения (рудные тела), разбросанные по площади, имеющие промышленный интерес, но небольшие запасы. Переработку добытых руд производят на центральной обогатительной фабрике, перевозка на которую вызывает достаточно большие затраты, снижающие эффективность освоения мелких месторождений. Указано, что отходы обогащения опасно загрязняют окружающую среду при складировании на земной поверхности. При подземной разработке возникает возможность комплексного освоения пространства недр. В последние десятилетия повышение эффективности горного производства, промышленной и экологической безопасности связывают с перемещением обогащения руд в подземное пространство.

Показано, что при отработке мелких месторождений, залегающих выше уровня долины, положительные результаты достигаются сооружением и эксплуатацией обогатительных модулей, размещаемых на уровне капитальных штолен. Отработку запасов осуществляют системами с полной закладкой выработанных пространств хвостами обогащения. Согласно предложенной методике, рациональное место расположения обогатительного модуля (ОМ) устанавливают в два приёма: в начале находят координаты x, y ОМ, которым соответствуют минимальные комплексные затраты. Отмечено, что задача оптимизации решается в системе координат, которая располагается таким образом, чтобы начало координат было на правом (левом) фланге рудного тела, ось Ox — по линии простирания рудного тела, ось Oy ориентирована в породы лежащего бока в направлении вкрест простирания. Пределы по оси Ox составляют $0...L$ — длина месторождения по простиранию (м). Установленные координаты x, y центра ОМ корректируются по условию надежности технологических камер ОМ при длительной эксплуатации: камеры комплекса должны размещаться за пределами зон возможных сейсмических воздействий от взрывных работ при добыче руд, в устойчивых породах, допускающих большие площади вертикального и горизонтального обнажения. Сооружение технологической камеры обогатительного модуля возможно на базе собственных рудничных ресурсов. Алгоритм сооружения включает проходку верхней подсечки (части), затем проходят нижнюю часть камеры.

Сделан вывод, что экономическая эффективность разработки мелких рудных месторождений нагорного типа, расположенных выше уровня долин, достигается размещением подземных обогатительных модулей на уровне капитальных штолен

Ключевые слова: *мелкие рудные месторождения; уровень долины; капитальная штольня; разработка; обогащение; подземный обогатительный модуль; рациональное место; методика; выработанные пространства; полная закладка; хвосты обогащения; сооружение технологических камер; эффективность горного производства; экологическая безопасность*

The development of fields of non-ferrous metals is often carried out in the hilly terrain with relative marks to 500...by 700 m. Ore fields include small fields (ore bodies), scattered on the areas having industrial interest, but small stocks. Processing of the extracted ores is made at the central enrichment factory on which transportation causes rather large expenses, reducing efficiency of small fields' development. Enrichment waste dangerously

pollutes the environment when are warehoused on the land surface. By underground mining there is a possibility of complex development of subsoil space. In the last decades an increase in efficiency of mining, industrial and environmental safety is connected with moving of ores enrichment to underground space.

During small fields' development, lying higher than the level of the valley, positive results are achieved by a construction and operation of the enrichment modules, placed at the level of capital adits. Development of stocks is carried out by the systems with a full tab of the developed spaces enrichment tails. According to the offered technique the rational location of the enrichment module (EM) is set in two steps: firstly coordinates in the beginning x , y of EM to which there correspond the minimum complex expenses is found. The problem of optimization is solved in a coordinate system, which is located so that the origin of coordinates was on the right (left) flank of an ore body, OX axis – through extension of an ore body, the axis of OY is oriented in breeds of the lying side in the direction in an extension cross. Limits on an axis OH make $0... L$ – field length on extension, m. The set coordinates x , is adjusted by y of the EM center for a condition of reliability of technological cameras of EM at long operation: cameras of a complex should be placed outside zones of potential seismic impacts from explosive works at extraction of ores, in the steady, strong breeds, allowing the large areas of vertical and horizontal exposure. The construction of the technological camera of the enrichment module is possible on the basis of own miner resources. The algorithm of a construction includes passing of upper cutting (part), then pass of the lower part of the camera.

It is concluded that the cost efficiency of small ore fields' development of mountain type, located higher than the level of valleys, is reached by placement of underground enrichment modules at the level of capital adits

Key word: small ore fields; valley level; capital adit; development; enrichment; underground enrichment module; rational place; technique; developed spaces; full tab; enrichment tails; construction of technological cameras; efficiency of mining; environmental safety

Введение. Разработка месторождений цветных и драгоценных металлов часто осуществляется в гористой местности с относительными отметками до 500...700 м. Рудные поля, крупные месторождения включают мелкие месторождения (рудные тела), разбросанные по площади, имеющие промышленный интерес, но небольшие запасы. Переработка добытых руд производится на центральной обогатительной фабрике, перевозка на которую вызывает достаточно большие затраты, снижающие экономическую эффективность освоения мелких месторождений. Отходы обогащения опасно загрязняют окружающую среду при складировании на земной поверхности [2; 3; 14]. При подземной разработке возникает уникальная возможность комплексного освоения пространства недр [4–6; 13].

Решение проблемы. В последние десятилетия повышение эффективности горного производства, промышленной и экологической безопасности связывают с перемещением полного цикла первичной переработки (обогащения) руды в под-

земное пространство недр [1; 9–12]. При подземной разработке мелких рудных месторождений, залегающих выше уровня долины, положительные результаты достигаются сооружением и эксплуатацией подземных обогатительных модулей, размещаемых на уровне капитальной штольни (рис. 1). Хвосты обогащения подаются в комплексе подготовки гранулированных закладочных смесей. Отработку запасов осуществляют системами с полной закладкой выработанных пространств [7; 8; 15]. Предлагается методика установления рационального места расположения обогатительного модуля.

Согласно методике, рациональное место расположения обогатительного модуля (ОМ) устанавливаются в два приёма: в начале находят координаты x , y ОМ, которым соответствуют минимальные комплексные затраты, затем место корректируют с учетом устойчивости, длительной прочности вмещающих пород и наличия подземных водотоков.

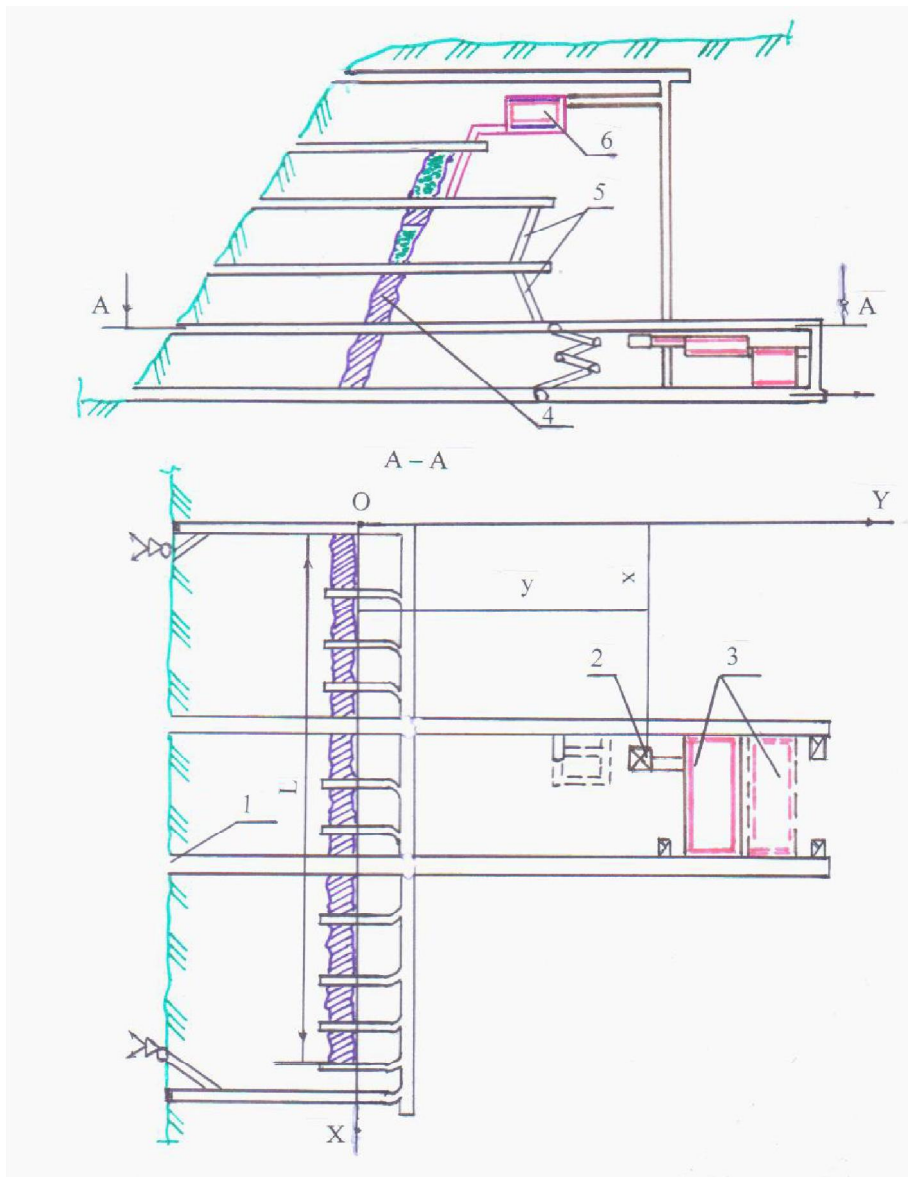


Рис. 1. Принципиальная схема расположения подземного обогатительного модуля при разработке месторождений нагорного типа: 1 – капитальная штольня; 2 – рудоприемный бункер модуля; 3 – технологические камеры модуля; 4 – рудное тело; 5 – капитальные рудоспуски; 6 – комплекс подготовки гранулированных закладочных смесей / Fig. 1. Schematic circuit of the underground enrichment module arrangement when developing fields of mountain type: 1 – capital adit; 2 – ore receiving bunker of the module; 3 – technological cameras of the module; 4 – ore body; 5 – capital ore chutes; 6 – complex of granulated stowage mixes' preparation

Задача оптимизации решается в системе координат, которая располагается таким образом, чтобы начало координат было на правом (левом) фланге рудного тела, ось OX – по линии простирания рудного тела, ось OY сориентирована в породе лежащего бока в направлении вкрест простирания. Пределы по оси OX составляют $0 \dots L$ – длина месторождения по простиранию, м. Ус-

ловия поиска минимальных комплексных затрат могут быть представлены следующим образом:

$$\text{целевая функция } F = C_{xy} = \sum \sum C_{ij} \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\text{граничные условия: } 0 < x \leq L; y \geq R,$$

где R – радиус возможных сейсмических воздействий от взрывных работ, м;

$C_{xy} = \sum \sum C_{ij}$ – комплексные затраты по осям OX, OY, р.;

i, j – виды затрат.

Равенства для подсчета соответствующих эксплуатационно-капитальных затрат следующие.

Затраты $C_{\rho m}$ на транспортирование рудной массы до приемного бункера подземного обогатительного модуля составляют

$$C_{\rho m} = [c_{\rho m} (B - h m \gamma x) (L - x) + c_{\rho m} h m x^2 \gamma + c_{\rho m} B \gamma y] K_u / (1 - \rho), \quad (2)$$

где $c_{\rho m}$ – удельные затраты на транспортирование рудной массы по горизонтальным выработкам по направлению осей координат ОХ и ОУ, р/т м;

B – балансовые запасы рудного тела, т;

h – высота рудного тела, м;

L – длина рудного тела по простиранию, м;

γ – плотность руды, т/м³;

m – мощность рудного тела, м;

K_u – коэффициент извлечения руды;

ρ – коэффициент разубоживания руды.

В равенстве (2) слагаемое $c_{\rho m} (B - h m \gamma x) (L - x)$ представляет затраты на транспортирование рудной массы, получаемой из левой части рудного тела согласно расчетной схеме (рис. 1); слагаемое $(c_{\rho m} h m x^2 \gamma)$ – затраты на транспортирование рудной массы из правой части рудного тела длиной по простиранию, равной x ; слагаемое $(c_{\rho m} B \gamma y)$ – затраты на транспортирование рудной массы по направлению от рудного тела до рудоприемного бункера подземного ОМ.

Затраты C_k на транспортирование концентрата до устья капитальной штольни равны

$$C_k = c_{mk} B K_u / (1 - \rho) M_k (L_{шт} + y), \quad (3)$$

где c_{mk} – удельные затраты на транспортирование концентрата, р/тм;

M_k – выход концентрата, д. ед.;

$L_{шт}$ – длина штольни, м.

Затраты C_{xb} на перемещение хвостов от подземного ОМ до закладочного комплекса и от него в выработанные пространства очистных блоков равны

$$C_{xb} = B K_u / (1 - \rho) M_{xв} [c_{mxв} (L_{шт} + y) + c_{mxв} (L - x)], \quad (4)$$

где $M_{xв}$ – выход хвостов, д. ед.;

$c_{mxв}$ – удельные затраты на транспортирование хвостов, р/тм.

Затраты на транспортирование C_m технологических материалов равны

$$C_m = c_{mm} B K_u / (1 - \rho) N_m (L_{шт} + y), \quad (5)$$

где c_{mm} – удельные затраты на транспортирование материалов, р/тм;

N_m – норматив расхода материалов, т/т рудной массы.

Затраты $C_{об}$ на транспортирование крупногабаритного, среднего и мелкого обогатительного оборудования составляют

$$C_{об} = c_{тоб} R (L_{шт} + y), \quad (6)$$

где $c_{тоб}$ – удельные затраты на транспортирование обогатительного оборудования, р/тм;

R – масса обогатительного оборудования данного типа, т.

Затраты C_{np} на проходку транспортных и вентиляционных выработок: подземного ОМ составляют

$$C_{np} = \Sigma c_{np,ij} S_{np,ij} (y - L_{ср,кв}) + n_o c_o S_o H_o, \quad (7)$$

где c_o – стоимость проходки 1 м³ восстающего, р / м³;

$c_{np,ij}$ – стоимость проходки 1 м³ транспортного штрека, р/м³;

S_o – площадь сечения восстающего ОМ, м²;

$S_{np,ij}$ – площадь сечения транспортного штрека, м²;

$L_{ср,кв}$ – средняя длина квершлагов рудника, м;

H_o – высота вентиляционного восстающего, м;

n – количество вентиляционных восстающих подземного ОМ.

В затратах на проходку горных выработок не учитывались выработки рудника (штольни, откаточные штреки, восстающие, рудоспуски и т. д.), не влияющие на выбор места заложения подземного ОМ.

Выражение для подсчета суммарных комплексных затрат (C_k) на основании равенств, связанных с местом расположения ОМ, может быть записано в следующем виде:

$$C_k = [c_{\rho m} (B - h m \gamma x) (L - x) + c_{\rho m} h m x^2 \gamma c_{\rho m} B \gamma] K_u / (1 - \rho) + \gamma c_{np,ij} S_{np,ij} (y - L_{ср,кв}) + n_o c_o S_o H_o + c_{mk} B K_u / (1 - \rho) M_k (L_{шт} + y) + B K_u / (1 - \rho) M_{xв} [c_{mxв} (L_{шт} + y) + c_{mxв} (L - x)] + c_{mm} B K_u / (1 - \rho) N_m (L_{шт} + y) + c_{тоб} R. \quad (8)$$

Оптимизация комплексных затрат может быть выполнена с использованием метода Гаусса – Зейделя для случая двумерного пространства, согласно которому отыскиваются частные экстремумы по переменным x , y . Значения итеративных шагов могут быть следующие:

– для переменной x $\Delta x = 250$ м ($x = 0$; 250; 500; 750; 1000 м и т.д.);

– для переменной y $\Delta y = 200$ м ($y = 200$; 400; 600; 800; 1000 м).

Установленные координаты x , y центра ОМ корректируются по условию надежно-

сти технологических камер ОМ при длительной эксплуатации: камеры комплекса должны размещаться за пределами зон возможных сейсмических воздействий от взрывных работ при добыче руд, в устойчивых, прочных породах, допускающих большие площади вертикального и горизонтального обнажения.

Сооружение обогатительного модуля возможно на базе собственных рудничных ресурсов. На рис. 2 приведена принципиальная схема проходки технологической камеры обогатительного модуля.

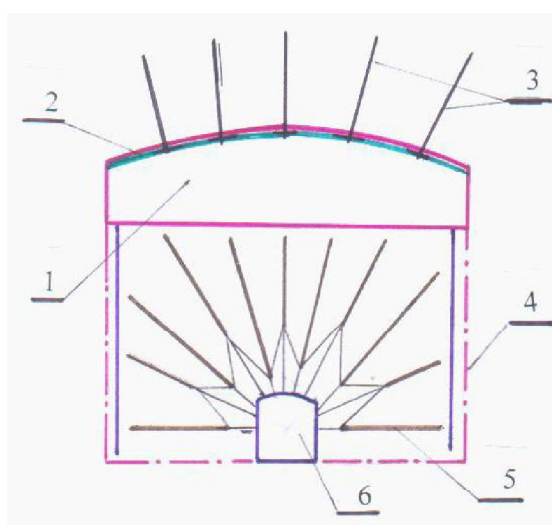


Рис. 2. Принципиальная схема проходки технологической камеры подземного обогатительного модуля: 1 – верхняя подсечка; 2 – набрызг-бетонная крепь; 3 – анкерная крепь; 4 – контур нижней части технологической камеры; 5 – взрывные скважины малого диаметра; 6 – транспортный штрек / Fig. 2. Schematic circuit of technological camera passing of underground enrichment module: 1 – upper cutting; 2 – sprayed plaster base-concrete timbering; 3 – anchor timbering; 4 – circuit of the lower part of technological camera; 5 – explosive wells of small diameter; 6 – haulage roadway

Алгоритм сооружения технологической камеры включает проходку верхней подсечки (части), транспортного штрека, крепление верхней подсечки комбинированной крепью, включающей установку длинномерных анкеров (длина 5...10 м), нанесение на кровлю и стены подсечки набрызг-бетонной крепи толщиной 50...100 мм. Затем бурением из транспортного штрека веерных скважин, заряданием и взрыванием в них зарядов, уборкой горной массы проходят нижнюю часть камеры. Длительную устойчивость стен камеры также обеспечивают комбинированной

анкер-набрызг-бетонной крепью. Размеры технологической камеры определяют, исходя из аппаратной схемы обогатительного модуля.

Заключение. Экономическая эффективность разработки мелких рудных месторождений нагорного типа, расположенных выше уровня долин, достигается размещением обогатительных модулей на уровне капитальных штолен. Предложенная методика установления рационального места размещения модуля может быть полезной при проектировании.

Список литературы

1. Абрамов В. Ф., Лушников В. И., Саженов А. А. Опыт разработки месторождений с подземным обогащением руды на зарубежных рудниках // Цветная металлургия. 1984. № 12. С. 71–72.
2. Антоненко Л. К., Зотеев В. Г. Проблемы безопасной эксплуатации хвостохранилищ и пути их решения // Горный журнал. 1998. № 1. С. 65–67.
3. Бодров С. С., Пермяков Р. С. Оценка воздействия горного предприятия на окружающую среду // Горный журнал. 1997. № 1. С. 50–54.
4. Голярчук Н. И. Экологические аспекты складирования и утилизации отходов обогащения ГОКов Кривбасса // Горный журнал. 1991. № 9. С. 21–24.
5. Ельников В. Н., Лейзерович С. Г., Усков А. Х. Результаты первого этапа опытных работ по подземному складированию текущих хвостов обогащения на комбинате «КМАруда» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2000. № 5. С. 27–29.
6. Каплунов Д. Р. Актуальные проблемы подземной разработки рудных месторождений // Горный журнал. 1995. № 1. С. 46–49.
7. Крупник Л. А., Соколов В. Г., Едильбаев В. И. Повышение эффективности использования хвостов флотации для закладки // Горный журнал. 1987. № 6. С. 20–22.
8. Крупник Л. А., Пятигорский Л. В. Перспективы развития технологии и механизации закладочных работ при подземной разработке руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2000. № 4. С. 204–206.
9. Патент 2338879 РФ. Способ разработки рудных месторождений / Г. Г. Пирогов; патентообладатель Читинский государственный университет; заявл. 26.03.2007; опубл. 20.11.2008. Бюл. № 32.
10. Семигин Р. И., Шварц Ю. Д., Зицер И. С. Геологические аспекты создания подземных комплексов по добыче и переработке минерального сырья // Горный журнал. 1995. № 5. С. 31–33.
11. Шварц Ю. Д., Кутузов Д. С., Зицер И. С. Эколого-экономическая эффективность подземных комплексов по добыче и переработке полезных ископаемых // Цветная металлургия. 1994. № 8. С. 3–9.
12. Шварц Ю. Д., Семигин Р. И., Зицер И. С., Кутузов Д. С. Безотходное горно-обогатительное производство на базе подземных комплексов // Горный журнал. 1992. № 5. С. 42–45.
13. Швецов П. Ф., Зильберборд А. Ф. Под землю, чтобы сберечь Землю // Природа. 1981. № 10. С. 27–32.
14. Nantel J. Recent Developments and Trends in Backfill Practices in Canada // Minefill. AusIMM. 1998. April 14.
15. Ritcey G. M. Tailings management. Amsterdam: Elsevier; Oxford; New York; Tokyo, 1989. 970 p.

References

1. Abramov V. F., Lushnikov V. I., Sazheney A. A. *Tsvetnaya metallurgiya* (Non-ferrous metallurgy), 1984, no. 12, pp. 71–72.
2. Antonenko L. K., Zotcev V. G. *Gornyy zhurnal* (Mining Journal), 1998, no. 1, pp. 65–67.
3. Bodrov S. S., Permyakov R. S. *Gornyy zhurnal* (Mining Journal), 1997, no. 1, pp. 50–54.
4. Golyarchuk N. I. *Gornyy zhurnal* (Mining Journal), 1991, no. 9, pp. 21–24.
5. Elnikov V. N., Leyzerovich S. G., Uskov A. Kh. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* (Mining information and analytical bulletin), 2000, no. 5, pp. 27–29.
6. Kaplunov D. R. *Gornyy zhurnal* (Mining Journal), 1995, no. 1, pp. 46–49.
7. Krupnik L. A., Sokolov V. G., Edilbaev V. I. *Gornyy zhurnal* (Mining Journal), 1987, no. 6, pp. 20–22.
8. Krupnik L. A., Pyatigorsky L. V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* (Mining information and analytical bulletin), 2000, no. 4, pp. 204–206.
9. *Patent 2338879 RF. Sposob razrabotki rudnykh mestorozhdeniy* (Patent 2338879 of the Russian Federation. Method of ore deposits' development); G. G. Pirogov; patent holder Chita State University; declared on March 26, 2007; publ. 20.11.2008, bul. no. 32.
10. Semigin R. I., Schwartz Yu. D., Zitser I. S. *Gornyy zhurnal* (Mining Journal), 1995, no. 5, pp. 31–33.
11. Shvartz Yu. D., Kutuzov D. S., Zitser I. S. *Tsvetnaya metallurgiya* (Non-ferrous metallurgy), 1994, no. 8, pp. 3–9.
12. Schwartz Yu. D., Semigin R. I., Zitser I. S., Kutuzov D. S. *Gornyy zhurnal* (Mining Journal), 1992, no. 5, pp. 42–45.
13. Shvetsov P. F., Zilberbord A. F. *Priroda* (Nature), 1981, no. 10, pp. 27–32.
14. Nantel J. *Minefill. AusIMM* (Minefill. AusIMM), 1998, April 14.
15. Ritcey G. M. *Tailings management* (Tailings management). Amsterdam: Elsevier; Oxford; New York; Tokyo, 1989. 970 p.

Коротко об авторе _____ **Briefly about the author**

Пирогов Геннадий Георгиевич, д-р техн. наук, профессор кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: научное обоснование и создание новых технологий разработки рудных месторождений
pirogov.chita@mail.ru

Gennady Pirogov, doctor of technical sciences, professor, Underground Mining of Mineral Deposits department, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: scientific rationale and creation of new technologies for the development of ore deposits

Образец цитирования _____

Пирогов Г. Г. Совершенствование разработки мелких рудных месторождений нагорного типа // Вести. Забайкал. гос. ун-та. 2019. Т. 25. № 3. С. 31–37. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-3-31-37.

Pirogov G. Improvement of small ore fields development of mountain type // Transbaikal State University Journal, 2019, vol. 25, no. 3, pp. 31–37. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-3-31-37.

Статья поступила в редакцию: 14.01.2019 г.
Статья принята к публикации: 21.02.2019 г.

