

ПРИМЕРЫ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ПРИ ОТРАБОТКЕ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В.Д. Кантемиров, Р.С. Титов, А.М. Яковлев
Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация: В статье приведены примеры разработанных технических решений по снижению горно-геологических рисков при отработке сложноструктурных месторождений каменного угля и гранулированного кварца. Установлено, что в результате внедрения рекомендуемых мероприятий, горно-геологические риски освоения участка Одегелдей Ак-Тальского месторождения каменного угля могут быть снижены до приемлемого «низкого» уровня, с вероятностью возникновения до 10-15 %, что позволит реализовать социально значимый объект по снабжению населения Республики Тыва качественным топливом. Показаны технические решения позволяющие вовлечь в разработку небольшие кварцевые жилы гранулированного кварца высокой чистоты, обеспечивающие высокую производительность и эффективность горных работ без значительных потерь дефицитного сырья. Результаты исследований могут быть полезными при оценке, возникающей в процессе эксплуатации месторождения и технико-производственных рисков ГОКа.

Ключевые слова: горно-геологические риски, каменный уголь, гранулированный кварц, кварцевые жилы, технологии взрывания, отбойка кварца, гидромолот, блочное моделирование.

EXAMPLES OF TECHNICAL SOLUTIONS TO REDUCE MINING AND GEOLOGICAL RISKS DURING THE DEVELOPMENT OF COMPLEX-STRUCTURED DEPOSITS

V.D. Kantemirov, R. S. Titov, A.M. Yakovlev
Institute of Mining, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

Abstract: The article provides examples of developed technical solutions to reduce mining and geological risks during the development of complex-structured deposits of coal and granular quartz. It is established that as a result of the implementation of the recommended measures, the mining and geological risks of the development of the Odegeldey site of the Ak-Talsky coal deposit can be reduced to an acceptable «low» level, with a probability of occurrence of up to 10-15%, which will allow the implementation of a socially significant facility to supply the population of the Republic of Tyva with high-quality fuel. Technical solutions are shown to involve small quartz veins of granular quartz of high purity in the development, ensuring high productivity and efficiency of mining operations without significant losses of scarce raw materials. The results of the research can be useful in assessing the risks arising during the operation of the field and the technical and production risks of the GOK.

Keywords: mining and geological risks, coal, granular quartz, quartz veins, blasting technologies, quartz chipping, hydraulic hammer, block modeling.

В настоящее время наиболее простые по геологическому строению, богатые по качеству рудного и нерудного сырья и доступные по географическому положению месторождения в значительной степени уже отработаны. В перспективе развитие минеральной сырьевой базы будут определять сложноструктурные месторождения руд черных, цветных и благородных металлов, нерудного и другого сырья, имеющие крайне сложные горно-геологические и горнотехнические условия разработки [1-6].

Сложноструктурные в геологическом и горнотехническом отношении месторождения — это месторождения, ха-

рактеризующееся различным генезисом геологических образований, сложностью петрографического состава, влиянием тектонических нарушений залегания горных пород, различием структурных неоднородностей, многообразием химического и минерального состава и др. Для месторождений этого типа, как в целом, так и по отдельным рудным телам полезного ископаемого (ПИ) и выемочным блокам характерны следующие признаки:

- ✦ изменчивость мощности рудных тел в широком диапазоне от нескольких сантиметров до десятков метров и угла падения от 0 до 90°;

- ✧ сложная морфология залежей (форма тел) по падению и простиранию;
- ✧ прерывистость оруденения и исключительно неравномерное распределение полезного компонента в объеме рудных тел;
- ✧ высокая изменчивость физико-механических свойств ПИ и вмещающих пород;
- ✧ неравномерность в характере проявления горного давления;
- ✧ наличие разномасштабных тектонических нарушений и др.

Вышеперечисленные факторы способствуют возникновению повышенных рисков при разработке месторождений ПИ указанного типа.

В горной промышленности наряду с горно-геологическими рисками существует опасность возникновения совокупности других рисков, которые могут существенно повлиять на структуру горно-обогатительного комбината и технологические процессы эксплуатации месторождения [1-6], в т.ч.:

- ✧ технико-производственные (риски связанные с остановкой производства и невыполнения производственной программы, безопасностью труда, экологический риск и т. п.);
- ✧ экономические и финансово-политические;
- ✧ экономико-географические, связанные с освоенностью района проведения горных работ (наличие многолетней и вечной мерзлоты, отсутствие развитой транспортной инфраструктуры, отдаленность от промышленных центров, дефицит трудовых ресурсов и др.).

Оценка рисков, при разработке месторождений ПИ, подразделяется на качественный и количественный анализ. Первый, определяет факторы риска и устанавливает потенциальные области риска, второй, численно определяет размер риска [7-10].

Цель исследований: разработка технических решений по снижению горно-геологических рисков при отработке сложноструктурных месторождений.

Методы и материалы исследований

На основе качественной (экспертной) оценки рисков, наиболее характерными рисками связанные с освоением сложноструктурных месторождений, являются:

- ✧ не подтверждения количественных и качественных показателей запасов руды;
- ✧ риски недостижения требуемых объемов добычи, падения уровня производственной мощности или увеличения производственной себестоимости за счет ухудшения горнотехнических условий в процессе эксплуатации карьера;
- ✧ геомеханические риски и вероятные участки их возникновения;
- ✧ риски несоблюдения сроков освоения требуемой мощности.

Для преодоления или предотвращения возможных рисков отработки сложноструктурных месторождений на стадии проектирования или эксплуатации разрабатывается комплекс мер призванных снизить негативное воздействие горно-геологических факторов.

Существующие геотехнологии добычи руды из сложноструктурных месторождений характеризуются большой трудо-

ёмкостью, невысокими технико-экономическими показателями, значительными потерями и разубоживанием руды.

Ниже рассмотрены возможные технические решения по снижению рисков разработки сложноструктурных месторождений на конкретных примерах.

Участок Одегелдей Ак-Тальского каменноугольного месторождения.

Участок Одегелдей расположен в центральной части Республики Тыва в северных предгорьях хребта Танну-Ола, на правом берегу р. Элегест. Целью освоения месторождения является снабжение углем потребителей г. Кызыла (местные котельные и население). Каменные угли на участке представлены тремя пластами, двумя крупными № 1 и № 2 и одним мелким № 3. Объем утвержденных запасов (пласт № 1) составляет 3,7 млн. т, классификационные характеристики угля пласта №1 соответствуют марке «1Ж» – первый жирный, со средней теплотой сгорания 6,8 Мкал/кг и зольностью до 20 %.

Основные горно-геологические риски отработки каменного угля участка Одегелдей карьером производительностью по углю до 300 тыс.т/год и текущим коэффициентом вскрыши в границах карьера – 7,2 м³/т следующие:

- ✧ вблизи от выходов угольного пласта находится русло р. Элегест (100-500 м) и на отдельных площадках мощность рыхлых отложений достигает 35 м; приток воды в карьер до глубины 25 м (до уровня р. Элегест) определен в 0,8 м³/час, а в диапазоне глубин 25-100 м – до 860 м³/час;
- ✧ наиболее вероятным участком возникновения геомеханических рисков является Северо-западный борт карьера, расположенный вблизи р. Элегест (80-100 м);
- ✧ имеет место широкий диапазон колебаний мощности угольного пласта от 1,9 до 18,5 м, средняя эксплуатационная мощность пласта – 8,9 м;
- ✧ недостаточная степень геологической изученности пласта № 1, которая заключается в недостаточном объеме выполненных геологоразведочных работ, в т.ч. 33 разведочных и 59 картировочных скважин, до глубины 102-150 м, с сеткой 250×250 и 500×500 м, что недостаточно для оцениваемой площади (более 120 Га);
- ✧ наличие в пласте № 1 породных прослоев, количество которых колеблется от 1 до 8, общая мощность изменяется от 0,65 до 7,5 м и некондиционного угля, в т.ч. окисленной зоны с поверхности до глубины 19 м с объемом 4,9 млн.т (56,9 % от общих геологических запасов в контурах планируемого карьера); указанные факторы увеличивают риск не подтверждения качественных показателей вследствие разубоживания кондиционного угля при его добыче (рис. 1);
- ✧ объем утвержденных запасов не позволяет обеспечить длительный период поставок угля потребителям в г. Кызыл (не более 10 лет с начала эксплуатации карьера).

В качестве примера представлена расчетно-аналитическая количественная оценка уровня горно-геологических рисков освоения угольного карьера участка Одегелдей Ак-Тальского каменноугольного месторождения. Основу метода составляет вероятностно-статистический подход, основанный на математическом аппарате теории вероятностей и математической статистики, позволяю-

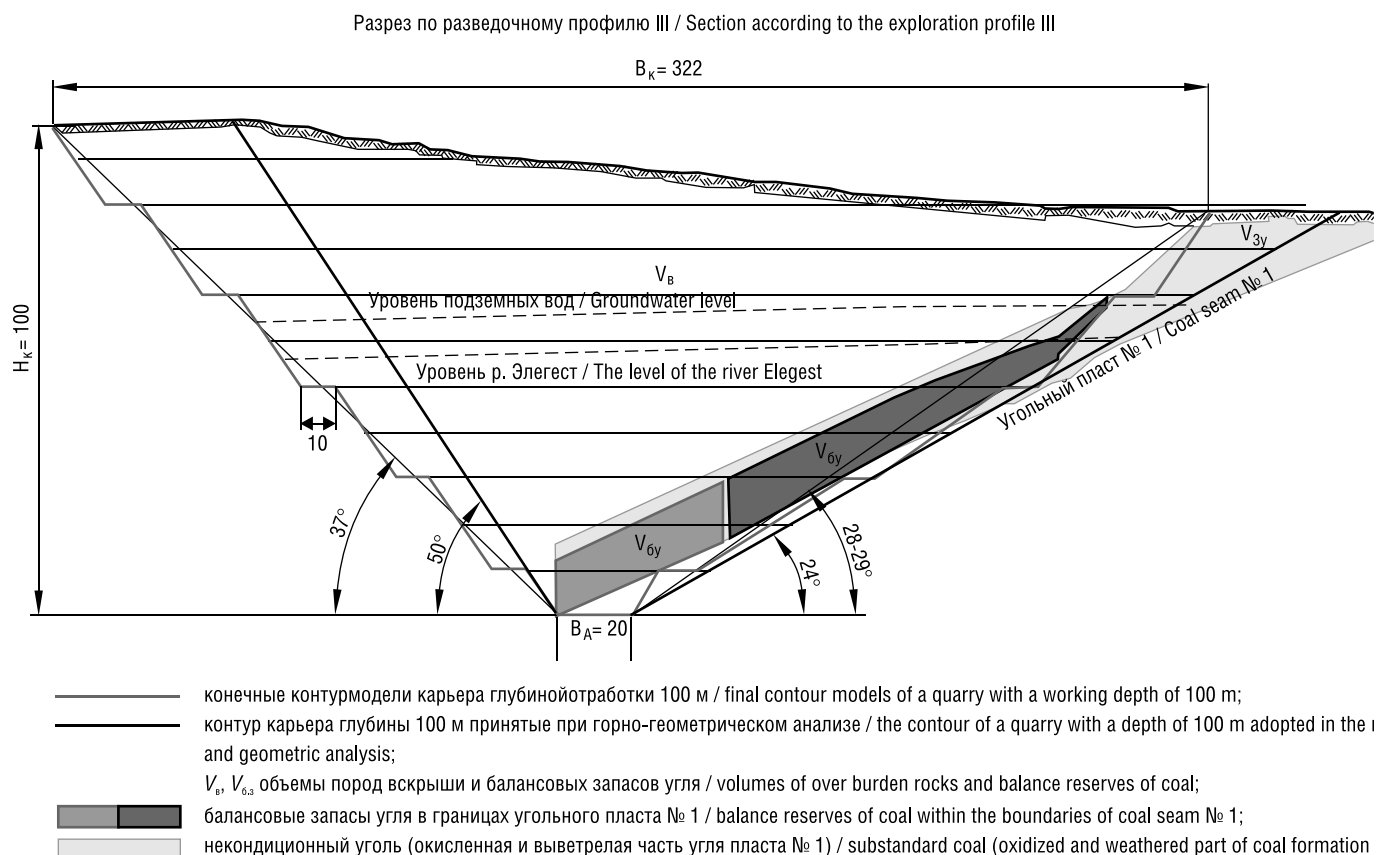


Рис. 1. Поперечный разрез угольного карьера Одегельдей.

Fig. 1. Cross section of the Odegeldey coal quarry.

щий прогнозировать вероятность наступление рисковог события.

Согласно теории вероятностей, исходные горно-геологические параметры (X) определяющие величину производственной мощности карьера принимаются как независимые события, тогда риск не выполнения плановой производительности карьера по уголю A_y , при взаимодействии двух независимых параметров (событий), можно представить следующим выражением [7, 8, 11]:

$$R(A_y) = R(V) + R(Q) - R(V) R(Q), \quad (1)$$

где $R(A_y)$ – риск не выполнения плановой производительности карьера; $R(V)$ – риск неподтверждения геологических данных; $R(Q)$ – риск неподтверждения технико-экономических данных.

При оценке запасов в границах карьера, может оказаться, что запасы угля будут изменяться от Q_{min} до Q_{max} , при их математическом ожидании Q_M . Тогда, если ориентироваться на запасы равные Q_{min} , то риск не выполнения плановой производительности карьера составит $R(X) = 0\%$, а если ориентироваться на математическое ожидание запасов Q_M , то риск составит 50% ($R(X) = 50\%$), табл. 1, [7, 8, 11]. Возможная ошибка подсчета запасов ϵ , при нормальном законе распределения, может быть принята равной $\pm 3\sigma$.

Расчет уровня рисков невыполнения производственной программы по добыче угля

1. Выполняется расчет достижимой производительности карьера по уголю с учетом горнотехнических параметров ведения горных работ, тыс. т/год:

Таблица 1/ Table 1

Уровень риска неподтверждения балансовых запасов угля при различных значениях объема запасов в границах карьера. / The level of risk of not confirming the balance reserves of coal with different values of the volume of reserves within the boundaries of the quarry.

№ пп	Объем запасов угля, Q_i / Volume of coal reserves, Q_i	Уровень риска (R), % / Risk level (R), %
1	$Q_{min} = Q_M (1 - \sigma)$	0
2	$Q_1 = Q_M (1 - 2\sigma) = Q_{min}(1 - 2\sigma)/(1 - 3\sigma)$	2,3
3	$Q_2 = Q_M (1 - \sigma) = Q_{min}(1 - \sigma)/(1 - 3\sigma)$	15,9
4	$Q_3 = Q_M (1 - E) = Q_{min}(1 - E)/(1 - 3\sigma)$	25
5	$Q_M = Q_{min}1/(1 - 3\sigma)$	50
6	$Q_4 = Q_M (1 + E) = Q_{min}(1 + E)/(1 - 3\sigma)$	75
7	$Q_5 = Q_M (1 + \sigma)$	84,1
8	$Q_6 = Q_M (1 + 2\sigma)$	97,7
9	$Q_{max} = Q_M (1 + 3\sigma)$	100

где σ – среднее квадратичное отклонение; E – среднее отклонение ($E = 0,674\sigma$); Q_0 – значение величины запасов при $\epsilon = -3\sigma$ или $R = 0\%$ / where σ – is the standard deviation; E – is the mean deviation ($E = 0,674\sigma$); Q_0 – is the value of the reserves at $\epsilon = -3\sigma$ or $R = 0\%$.

✧ по условию интенсивности ведения горных работ

$$A_{т.в} = h_т S_p \gamma_y k_{руд} \frac{1-\eta}{1-\rho} = h_т L_n M_n \gamma_y k_{руд} \frac{1-\eta}{1-\rho}; \quad (2)$$

✧ по условию расстановки основного выемочного оборудования

$$A_{т.в} = n_d n_э Q_э \gamma_y = N_э Q_э \gamma_y, \quad (3)$$

где $h_т$ – среднегодовое понижение добычных работ в карьере (скорость углубки карьера для автомобильного транспорта – 10), м/год; S_p – площадь рудной залежи в пределах которой производится углубка карьера (площадь вскрытых запасов), м²; M_n – горизонтальная мощность пласта (балансовой части запасов – 26,1), м; L_n – длина дна карьера (определяется длиной пласта по простиранию, $L_n \sim L_n - 2200$), м; γ_y – средний объемный вес угля (1,43), т/м³; $k_{руд}$ – коэффициент рудоносности (0,8), дол. ед; η – величина потерь угля при добыче (10 % – 0,1), дол. ед; ρ – величина разубоживания угля при добыче (12 % – 0,12), дол. ед; $Q_э$ – расчетная годовая производительность экскаватора (1010,6 тыс. м³/год), м³/год; n_d – число добычных уступов, шт; $n_э$ – количество добычных экскаваторов на рабочем горизонте, ед; $N_э$ – возможное количество добычных экскаваторов в карьере, ед.

2. Выполняется расчет достижимой производительности карьера по вскрыше, тыс. м³/год:

$$A_{з.в} = A_{м.в} k_m, \quad (4)$$

где $A_{м.в}$ – производительность карьера по углю, т/год; k_m – текущий коэффициент вскрыши (7,2), м³/т.

Результаты расчетов представлены в *табл. 2*. Расчеты выполнены на основе предпроектных проработок лаборатории УКР ИГД УрО РАН по освоению участка Одегелдей Актальского месторождения угля.

Таблица 2/Table 2

Расчетные производительности карьера Одегелдей по добыче угля и вскрыши. / Estimated productivity of the Odegeldey quarry in coal mining and stripping.

Показатели / Indicators	Значения/Values
Производительность карьера по добыче угля / Coal mining quarry performance	тыс. т/год/ thousand tons/year
Проектная (по ТЗ)/Project	300
По условию интенсивности ведения горных работ (формула 2)/According to the condition of the intensity of mining operations (formula 2)	582
По условию расстановки основного выемочного оборудования(формула 3)/According to the arrangement of the main excavation equipment (formula 3)	1445
Производительность карьера по вскрыше / Career performance by stripping	тыс. м ³ /год/ thousand m ³ /year
Проектная (по ТЗ) / Project	2160
По условию интенсивности ведения горных работ (формула 2)/According to the condition of the intensity of mining operations (formula 2)	4192
По условию расстановки основного выемочного оборудования(формула 3)/According to the arrangement of the main excavation equipment (formula 3)	10405

Результаты расчетов (*табл. 2*) показывают, что проектная производительность карьера не превышает ее возможную по оцениваемым условиям – как по интенсивности ведения горных работ, так и по расстановке основного выемочного оборудования. Поэтому риск не подтверждения балансовых запасов угля следует оценивать по проектным значениям производительности карьера ($A_y = 300$ тыс. т/год и $A_{з.в} = 2160$ тыс. м³/год).

3. Оценка уровня риска не подтверждения балансовых запасов угля.

Расчет производится из следующих условий:

✧ величина утвержденных балансовых запасов угля принята за математическое ожидание Q_M (по данным проекта 3698,5 тыс. т);

✧ средневзвешенная ошибка подсчета запасов составляет по категориям $B+C_1 \varepsilon = p_B \varepsilon_B + p_{C1} \varepsilon_{C1} = 0,41 \times 0,25 + 0,59 \times 0,45 = \pm 0,34$, где p_B и p_{C1} – доля запасов категории B и C_1 ; ε_B и ε_{C1} – возможные погрешности по категориям запасов;

✧ среднеквадратическое отклонение уровня запасов составляет $\sigma = \pm 0,11$.

Расчеты выполнены с учетом полученных данных *табл. 1, 2*. Результаты расчетов уровня запасов угля в границах карьера, при котором значение риска их неподтверждения изменяется от 0 до 100 %, представлены в *табл. 3*.

Таблица 3/Table 3

Оценка уровня рисков неподтверждения объема запасов угля в границах карьера. / Assessment of the risk level of non-confirmation of the volume of coal reserves within the boundaries of the quarry.

№ п.п.	Риск неподтверждения запасов (R), % / Risk of non-confirmation of stocks (R), %	Объемы выемки запасов угля в границах карьера в зависимости от уровня рисков Q_i , тыс. т / Volumes of coal reserves dredging within the boundaries of the quarry depending on the risk level Q_i , thousand tons
1	0	2478,0
2	2,3	2884,8
3	15,9	3291,7
4	25	3424,3
5	50	3698,5
6	75	3972,7
7	84,1	4105,3
8	97,7	4512,2
9	100	4919,0

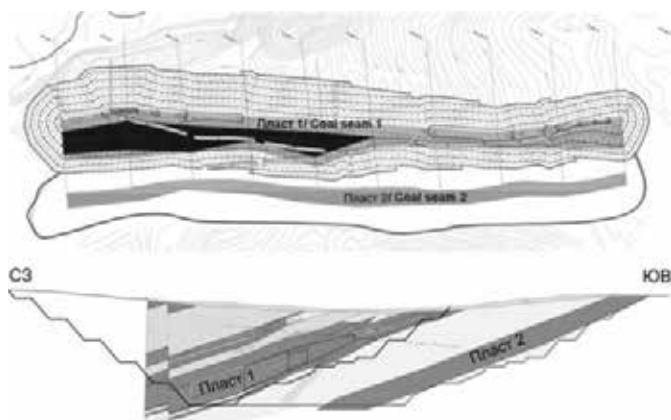
Результаты *табл. 3* свидетельствуют о том, что приращение объемов разрабатываемых запасов за счет расширения сырьевой базы карьера недостаточно разведанными участками месторождения повлечет за собой значительное увеличение рисков его отработки (*табл. 3*, № 6–9).

Результаты исследований

Для снижения влияния указанных рисков лабораторией УКР ИГД УрО РАН разработан комплекс технических решений.

Для снижения риска не подтверждения количественных и качественных показателей запасов угля, а также продления срока эксплуатации карьера рекомендуется следующие мероприятия:

- ✧ эксплуатационная доразведка участков контактов рудных тел с пустой породой с сеткой 50×50 м (25×25 м) и глубиной до 150 м, с последующими исследованиями проб, подсчетом и подтверждением балансовых запасов;
- ✧ обоснование прироста утвержденных запасов после детальной разведки пласта № 2 по категориям В и C_1 , прогнозные ресурсы которого по категории P_1 составляют 6,2 млн. т, прирост запасов может составить до 2,8 млн. т угля или ~ 10 лет дополнительной работы карьера и дополнительный доход до 800 млн. руб. (рис. 2);
- ✧ лабораторные исследования для уточнения качественных характеристик руды и при необходимости переоценка его качества в соответствии с современными требованиями;



- — — — — конечный контур карьера Одегельдей по отработке угольного пласта №1/ the final contour of the Odegeldey quarry for the development of coal seam №1;
- — — — — контур карьера с учетом прирезки для отработки угольного пласта №2/ the contour of the quarry, taking into account the cutting for the development of coal seam №2.

Рис. 2. Контуры угольного карьера Одегельдей.
Fig. 2. Contours of the Odegeldey coal quarry.

Для снижения рисков снижения качественных показателей угля рекомендуется следующее:

- ✧ внедрение мероприятий по стабилизации качества угля, включающих селективную выемку и сортировку угля в забое (сокращение разубоживания пустой породой);
- ✧ при этом селективная выемка угля производится гидравлическим экскаватором с емкостью ковша $2,5 \text{ м}^3$, за счет динамического управления ковшом в различных плоскостях, позволяющим с наименьшими потерями и разубоживанием производить разборку угольной массы в забое и отдельную выемку угля и породы;
- ✧ селективная выемка на участке забоя «порода-уголь» производится способом черпания угля и породы тонкой стружкой, отсортированный уголь и порода размещаются в ранее выработанном пространстве;
- ✧ сепарацию засоренного угля на складе готовой продукции с помощью плоскостного сепаратора простой конструкции (рис. 3);
- ✧ разделение материала в сепараторе на различии в форме частиц угля и породы и разной величине их коэффициентов трения; обогащение по трению и форме производится за счет различия в скоростях движения разделяемых частиц по плоскости под действием силы тяжести; куски угля обогащают на наклонной поверхности, имея разные коэффициент трения, уголь и порода движутся с разной скоростью и траекторией движения, что позволяет им самостоятельно отделяться друг от друга.

Производительность сепаратора составляет $3,5-4,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ с извлечением в концентрат 90-92 % исходного сырья. При производительности в $3,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ и режиме работы в одну 12 часовую смену 355 дней, годовой объем обогащаемого угля составит 14,9 тыс. $\text{м}^3/\text{год}$ (21,3 тыс. т/год), что обеспечит переработку всего поступающего объема разубоженной угольной массы. Простота конструкции сепаратора позволяет изготовить его собственными силами предприятия.

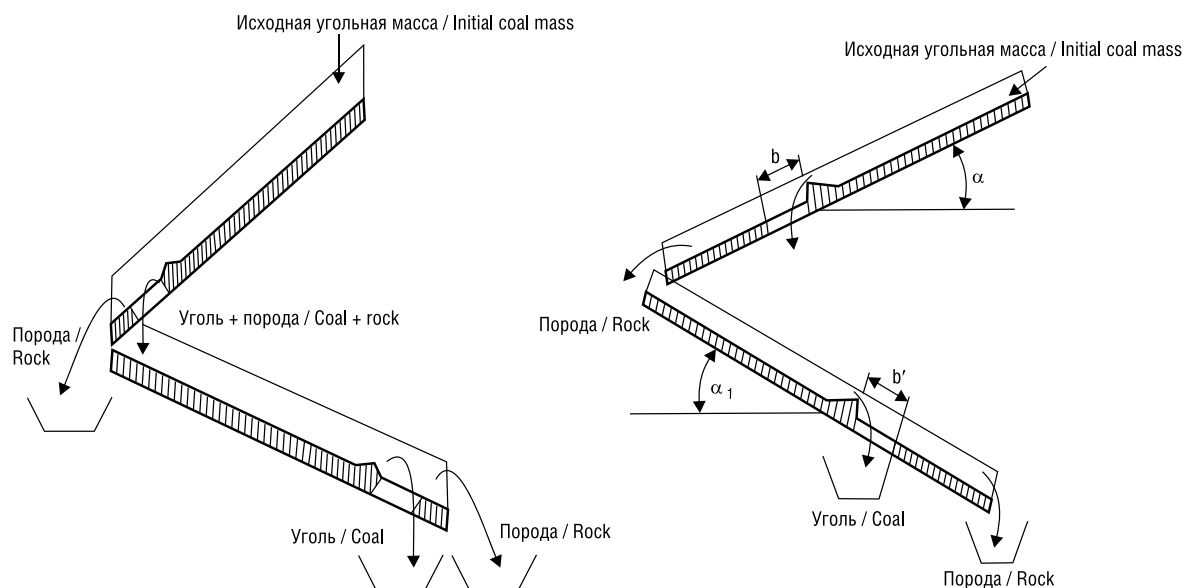


Рис. 3. Принципиальная схема плоскостного сепаратора угля.
Fig. 3. Schematic diagram of a planar coal separator.

Для снижения геомеханических рисков при производстве горных работ на участке повышенного риска – Северо-западном борту, рекомендуются следующие мероприятия:

- ✧ устройство системы открытого водоотлива и дренажа обеспечивающие своевременное удаление воды из карьера с учетом максимальных водопотоков 1250 м³/час;
- ✧ устройство противофильтрационной завесы барражного типа, которая сокращает поступление воды в выработанное пространство, тем самым снижая обводненность массива и вероятность деформации борта карьера (рис. 4).

Противофильтрационная завеса устраивается на участке Северо-западного борта карьера в зоне (на горизонтах) с наиболее интенсивным притоком воды. Технологически завеса выполняет функции вертикальной перегородки сокращающей фильтрацию подземных вод. Для создания завесы в массиве на рабочих горизонтах карьера проходятся скважины диаметром 160 мм буровым станком СБШ-250, через которые в массив закачиваются вяжущие растворы (бетон и др.) или противофильтрационные материалы (глина, суглинок). Длина и глубина завесы на опасном участке – до 50 м, расстояние между скважинами – 2-5 м.

В результате внедрения рекомендуемых мероприятий горно-геологические риски освоения участка Одегелдей Ак-Тальского месторождения каменного угля могут быть снижены до приемлемого «низкого» уровня, с вероятностью возникновения до 10-15%, что позволит реализовать социально значимый объект по снабжению населения Республики Тыва качественным топливом.

Кыштымское месторождение гранулированного жильного кварца

Кыштымское месторождение гранулированного кварца расположено в Кыштымском районе Челябинской области. Балансовые запасы для открытой разработки сосредоточены в 36 жилах на площади лицензионного участка в 44,6 км². В настоящее время наиболее крупная жила № 175 с 88% общих запасов месторождения разрабатывается подземным способом. Лабораторией УКР ИГД УрО РАН выполнены предпроектные проработки, на основании которых обосновано выделение под открытую разработку 32-х жил в пределах горных отводов общей площадью в 6,1 км² [12].

Месторождения чистого от примесей кварца встречаются в природе достаточно редко, поэтому каждое из разведанных месторождений имеет особое значение и подлежит отработке с минимальными потерями сырья. Производимый из гранулированного кварца высококачистый кварцевый концентрат является сырьем для ряда высокотехнологичных отраслей инновационной экономики. Из него получают прозрачное кварцевое стекло, которое на сегодня является безальтернативным компонентом процесса производства монокристаллического кремния – базового материала для микроэлектронной индустрии и солнечной энергетики.

Особенностью морфологии жил Кыштымского месторождения является их линзовидная, веретенообразная или плитообразная форма неправильной конфигурации. Размеры жил изменяются в широких пределах: по простиранию от 12 до 380 м, по падению от 12 до 60 м, мощность от 0,5 до 7 м. Углы падения жил в восточном направлении составляют 50-80° (рис. 5), глубина заложения до 50 м от поверхности, запасы 0,1-2 тыс. т.

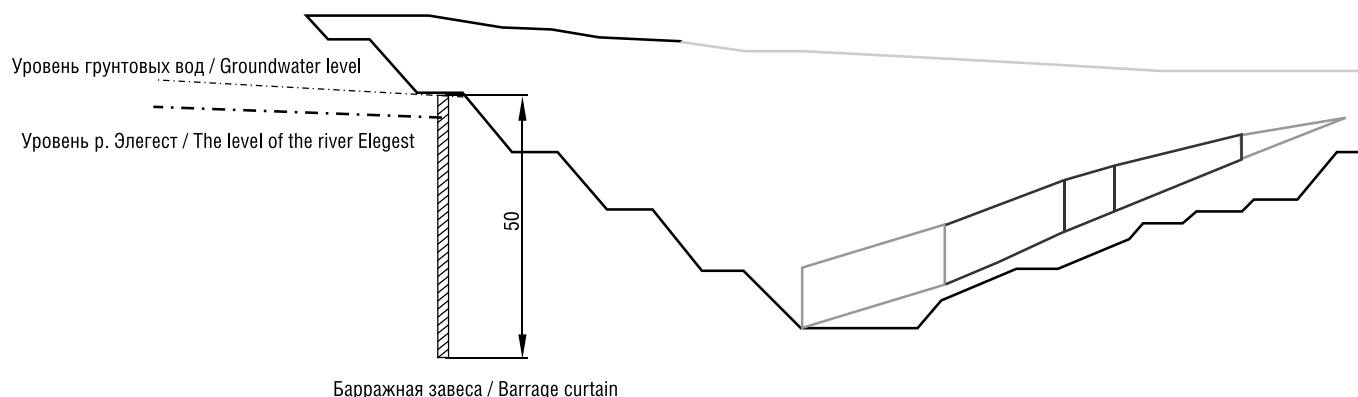


Рис. 4. Схема расположения «барражной» завесы в угольном карьере Одегелдей.

Fig. 4. The layout of the «barrage» curtain in the Odegeldey coal quarry.

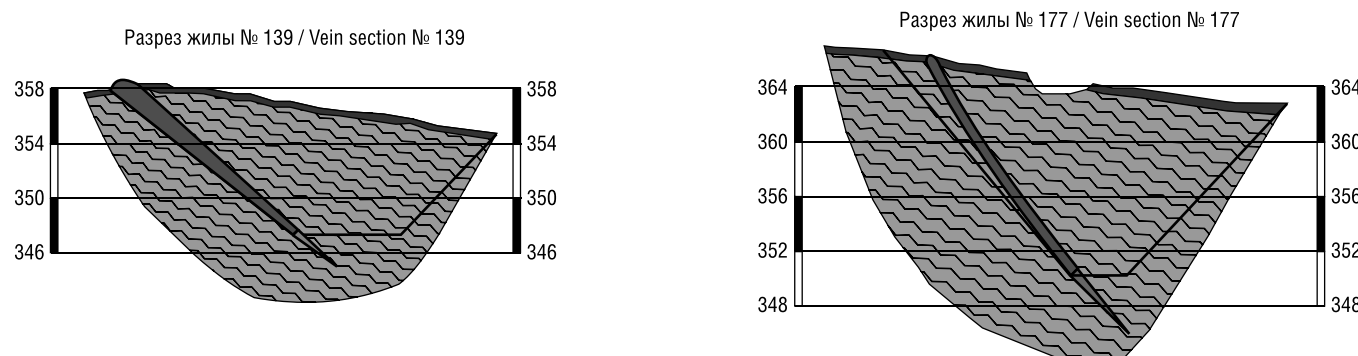


Рис. 5. Характерные геологические разрезы жил гранулированного кварца Кыштымского месторождения.

Fig. 5. Characteristic geological sections of veins of granulated quartz Kyshtym deposit.

Разработка кварцевых жил осложнена тем, что жилы располагаются в достаточно прочных вмещающих породах, которые необходимо убирать с помощью БВР. При этом гранулированный жильный кварц месторождения обладает специфическими физико-механическими свойствами связанными с структурным строением в массиве. Он состоит из зерен (гранул) размером до 1-2 мм слабо скрепленных между собой в результате дефектов его кристаллического строения. В результате слабой спайности зерен он подвержен «лавинообразному» разрушению на отдельности от сейсмического воздействия взрывной нагрузки при БВР [13-17], что способствует переизмельчению кварцевого сырья и значительному выходу некондиционных фракций [18-20]. Кондиционным для последующей переработки являются куски кварца фракции -400+20 мм [21]. Таким образом сложная морфология кварцевых жил в совокупности со структурными особенностями массива кварца создают повышенные риски получения при добыче значительных потерь дефицитного сырья.

Лабораторией УКР ИГД УрО РАН разработаны технические решения позволяющие снизить потери кварца при добыче открытым способом [12].

Суть предлагаемой технологии следующая:

- ✧ жили предлагается обрабатывать в основном неглубокими карьерами с 4 метровыми уступами, вскрытием траншеями внешнего заложения, с обработкой уступов продольными сквозными заходками;
- ✧ на буровых работах используется бурстанок ударно-вращательного бурения с возможностью бурения взрывных скважин $\varnothing$ 90-120 мм, диаметр буровых коронок -120 мм для чистой вскрыши и 90 мм для вскрыши вблизи рудного тела в скальных вскрышных породах;
- ✧ для предотвращения переизмельчения кварца используется специальная схема ведения взрывных работ в приконтактной зоне вскрышных пород с кварцем, основанная на применении плоской системы рассредоточенных вертикальных скважинных зарядов.

дов уменьшенного диаметра ($\varnothing 90$ мм) и переменной длины (рис. 6);

- ✧ в зависимости от падения жилы $50-80^\circ$ в 1-3 крайних рядах скважин бурятся укороченные скважины с недобуром до тела жилы в 20 - 40 см (рис. 6), таким образом, создается экранирующий слой породы, защищающий кварцевую жилу от воздействия основных зарядов рыхления увеличенного диаметра (120 мм) по вскрышным породам;
- ✧ буровые работы по кварцу не ведутся, отбойка кварцевого сырья вскрытой жилы осуществляется безвзрывным способом, с помощью гидромолота, навешиваемого на гидравлический экскаватор ЭО-5225 (рис. 7), погрузка отбитого кварца в автосамосвалы производится фронтальным колесным погрузчиком; при производительности стандартного гидромолота в $15-30 \text{ м}^3/\text{ч}$ он может за 8 часовую смену обеспечить к отгрузке до 200 т (80 м^3) кварцевого сырья, что соответствует объему кварца, залегающего в пределах 4-х метрового рабочего горизонта при разработке типичной жилы Кыштымского месторождения.

Заключение

Предлагаемые технические решения позволят вовлечь в разработку небольшие кварцевые жилы гранулированного кварца высокой чистоты, обеспечат высокую производительность и эффективность горных работ без значительных потерь дефицитного сырья.

Риски устойчивости инженерных систем рассматриваются при обосновании горнотехнических схем отработки месторождений в увязке с технико-экономической оценкой их эффективности.

Вся система геологоразведочных и горнодобывающих работ основана на снижении горно-геологических рисков (приближении оцениваемой геологической информации о количестве и качестве полезных ископаемых к фактическим параметрам). Приведенные примеры технических решений по снижению горно-геологических рисков освоения сложноструктурных востребованных для народного хозяйства месторождений свидетель-

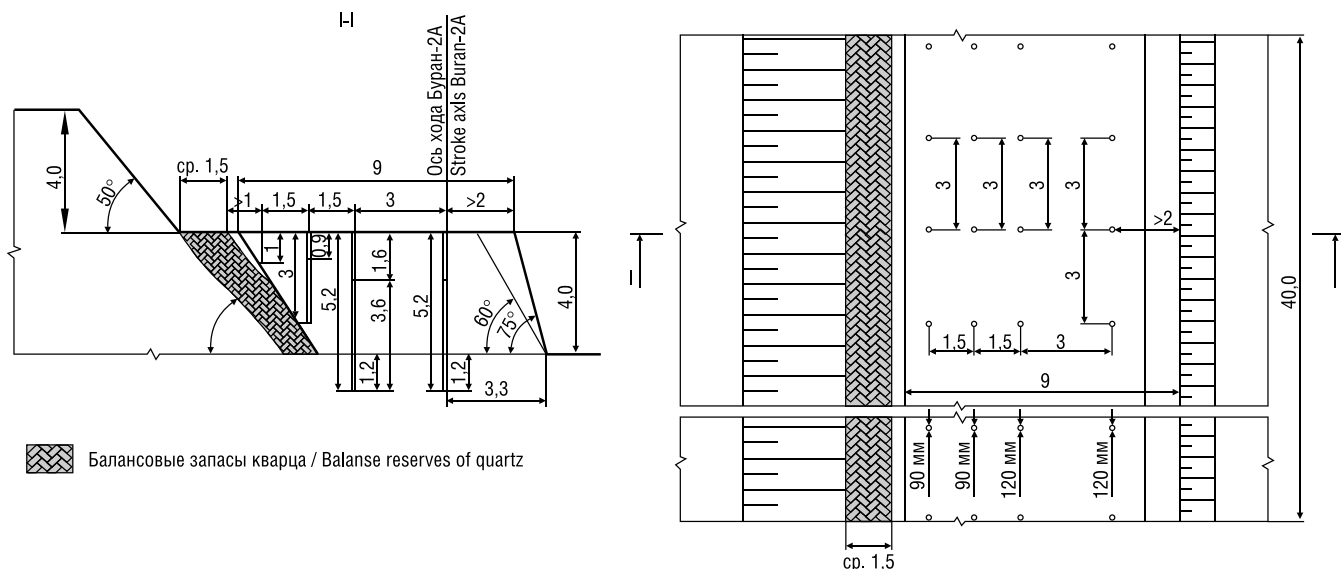


Рис. 6. Конструкция скважинных зарядов в зоне контакта кварцевой жилы с породой.

Fig. 6. The design of borehole charges in the contact zone of the quartz vein with the rock.

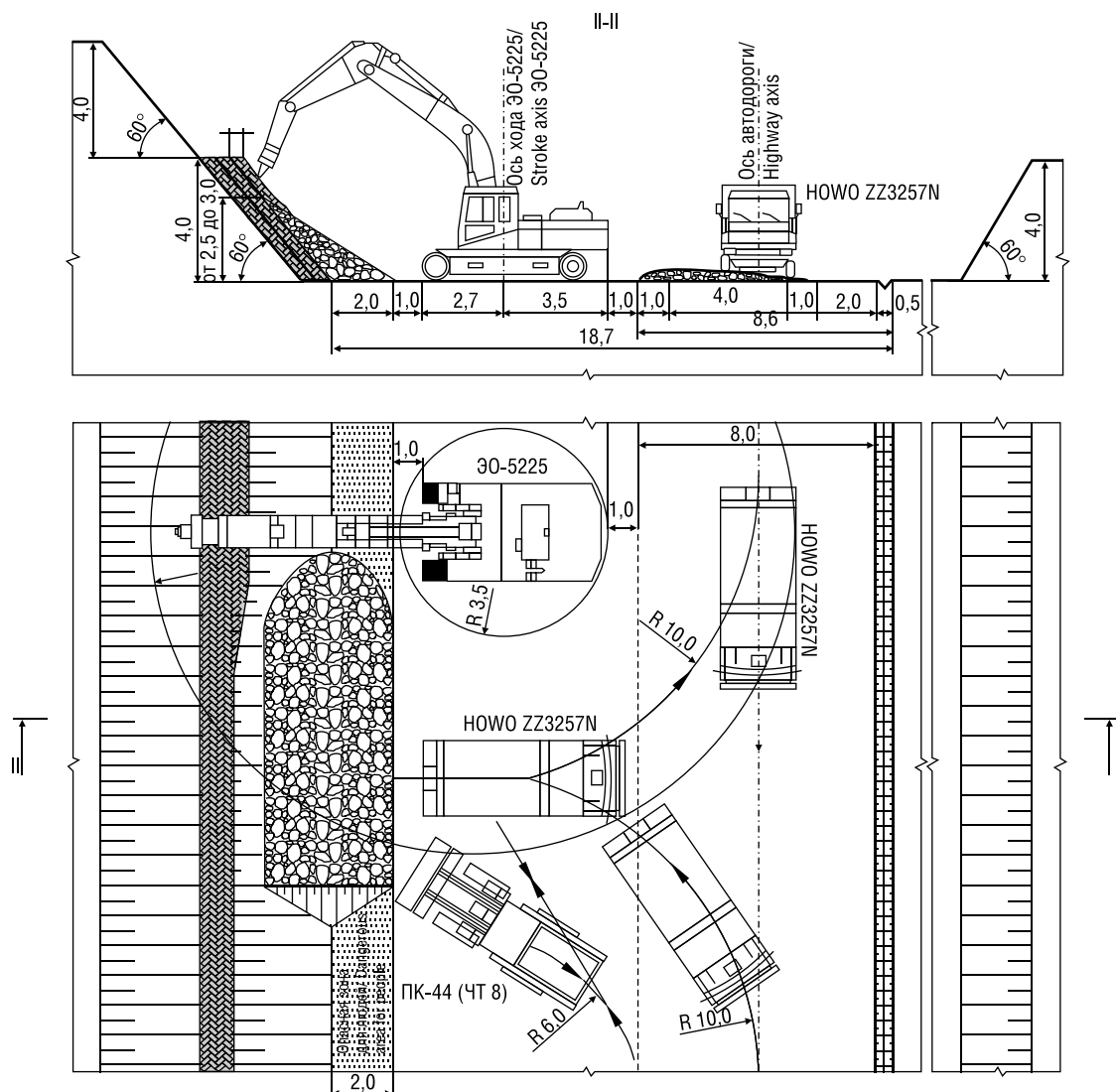


Рис. 7. Технологическая схема безвзрывной отбойки кварцевой жилы.

Fig. 7. Technological scheme of non-explosive breaking of quartz vein.

ствуют о технической возможности управления указанными рисками и снижения их до приемлемого уровня

достаточного для рассмотрения инвестиционных проектов по их разработке. ■

Благодарности / Acknowledgments:

Авторы выражают особую признательность и большую благодарность своим коллегам из лаборатории управления качеством минерального сырья ИГДурОРАН, а также коллективу редакции «Маркшейдерия и недропользование», за поддержку и помощь в написании и оформлении статьи / The authors express special gratitude and great gratitude to their colleagues from the Laboratory of Mineral Raw Materials Quality Management of the IGD Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, as well as to the editorial staff of «Surveying and Subsoil Use», for their support and assistance in writing and formatting the article.

Работа выполнена в рамках НИР Тема 1 «Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем» (FUWE-2022-0005), рег. №1021062010531-8-1.5.1. / Methodological foundations of the strategy of integrated development of reserves of solid mineral deposits in the dynamics of development of mining systems (FUWE-2022-0005), reg. №. 1021062010531-8-1.5.1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кантемиров В.Д. Оценка технологических решений по комплексному освоению Ельничного месторождения магнезита // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2021. - №. 5-1 - С. 29-40.
2. Кубиньски В. Анализ рисков в горнодобывающей промышленности, связанных с безопасностью работы / В. Кубиньски, Е. Кубиньска-Ябзон, А. Петров, Д. Сала, Д. Ю. Савон // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2017. - № 11. - с. 168-176.
3. Цветкова А.Ю. Обзор основных рисков предприятий горно-добывающей и металлургической отраслей в современных условиях // А.Ю. Цветкова// Записки Горного института. - 2011. - Т. 194. - с. 339-343.

4. Карташова Н.А. Разработка предложений по совершенствованию системы управления рисками на предприятии горнодобывающей отрасли Северо-востока России (на примере АО «Чукотская горно-геологическая компания» рудник «Купол») / Н.А. Карташова // Международный научно-исследовательский журнал. - 2017. - № 8(50). - Часть 1 - с. 38-43.
5. Малашкина В.А. Сравнение методов оценки и анализа рисков на горнодобывающих предприятиях / В.А. Малашкина, Ю.В. Погорелая // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2012. - № 12. - с. 267-279.
6. Шаклеин С.В. Оценка риска пользования недрами / С.В. Шаклеин, Т.Б. Рогова // Учеб. пособие - Кемерово. Изд-во ГУ КузГТУ, 2009. - 120 с.
7. Петросов А.А. Стратегическое планирование, прогнозирование, экономические риски горного производства // М.: «Мир горной книги», Издательство МГГУ, издательство «Горная книга», 2009. 684 с.
8. Пешкова М.Х. Экономическая оценка горных проектов // М.: Издательство МГГУ, 2003. - 422 с.
9. Уварин Н.Л. Экономические методы управления предприятием // М.: Издательство МГГУ, 2002. - 500 с.
10. Мельников Н.Н. Экономические аспекты освоения месторождений / Н.Н. Мельников, В.М. Бусырев // - Апатиты: изд. КНЦ РАН, - 2001. - 156 с.
11. Арсентьев А.И. Принятие решений о параметрах карьера // А.И. Арсентьев // - Ленинград.: ЛГИ, 1982. - 60 с.
12. Кантемиров В.Д. Технологические особенности открытой разработки высокочистого кварца / В.Д. Кантемиров, Р.С. Титов, А.М. Яковлев, М.В. Козлова // Известия Вузов Горный журнал. - 2020. - № 6 - С. 14-25.
13. Кантемиров В.Д. Анализ эксплуатационных показателей горнодобывающего оборудования ведущих железорудных карьеров России // В.Д. Кантемиров, Р.С. Титов, А.М. Яковлев // Известия Вузов Горный журнал. - 2019. - № 2. - С. 40-50.
14. Ганопольский М.И. Методы ведения взрывных работ. Специальные взрывные работы / М.И. Ганопольский, В.Л. Барон, В.А. Белин, В.В. Пупков, В.И. Сивенков // М.: Издательство МГГУ, 2007. - 563 с.
15. Соколов И.В. Обоснование оптимальных параметров буровзрывных работ при отбойке кварца / И.В. Соколов, А.А. Смирнов, А.А. Рожков // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2016. - № 7. - С. 337-350.
16. Соколов И.В. Повышение эффективности добычи кварца применением плоской системы рассредоточенных зарядов // И.В. Соколов, А.А. Смирнов, А.А. Рожков // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. - 2018. - № 1. - С. 56-65.
17. Кутузов Б.Н. Проектирование и организация взрывных работ / Б.Н. Кутузов, В.А. Белин // М.: Издательство «Горная книга», 2012. - 416 с.
18. Соколов И.В. Отбойка кварца рассредоточенными скважинными зарядами при подземной добыче / И.В. Соколов, А.А. Смирнов, А.А. Рожков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2017. - № 10. - С. 178-185.
19. Барановский К.В. Исследование параметров технологии подземной добычи гранулированного кварца / К.В. Барановский, А.А. Рожков // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. - 2019. - № 3. - С. 123-135.
20. Соколов И.В. Целесообразность подземной отработки малых кварцевых жил / И.В. Соколов, А.А. Смирнов, Ю.Г. Антипин, К.В. Барановский, И.В. Никитин, А.А. Рожков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. - 2018. - Т. 16. № 2. - С. 4-13.
21. Соколов И.В. Результаты экспериментальных исследований подземной добычи высокоценного кварца в условиях Кыштымского рудника / И.В. Соколов, А.А. Смирнов, Ю.Г. Антипин, К.В. Барановский, И.В. Никитин, А.А. Рожков // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2018. - № 1. - С. 97-106.

REFERENCES

1. Kantemirov V.D. Evaluation of technological solutions for the complex development of the Yelnichny deposit of magnesite / V.D. Kantemirov // Mining information and analytical bulletin. - 2021. - No. 5-1 - pp. 29-40.
2. Kubinski V. Analysis of risks in the mining industry related to work safety / V. Kubinski, E. Kubinska-Yabzon, A. Petrov, D. Sala, D.Yu. Savon // Mining information and analytical bulletin. - 2017. - No. 11. - pp. 168-176.
3. Tsvetkova A.Yu. Overview of the main risks of mining and metallurgical enterprises in modern conditions / A.Yu. Tsvetkova // Notes of the Mining Institute. - 2011. - Vol.194. - pp. 339-343.
4. Kartashova N.A. Development of proposals for improving the risk management system at the enterprise of the mining industry of the North-East of Russia (on the example of JSC «Chukotka Mining and Geological Company» «Kupol mine») / N.A. Kartashova // International Research Journal. - 2017. - № 8(50). - Part 1 - pp. 38-43.
5. Malashkina V.A. Comparison of methods of risk assessment and analysis at mining enterprises / V.A. Malashkina, Yu.V. Pogorelaya // Mining information and analytical bulletin. - 2012. - No. 12. - pp. 267-279.
6. Shaklein S.V. Assessment of the risk of subsoil use / S.V. Shaklein, T.B. Rogova // Textbook - Kemerovo. Publishing house of GU KuzSTU, 2009. - 120 p.
7. Petrosov A.A. Strategic planning, forecasting, economic risks of mining production / A.A. Petrosov // - M.: «The world of the mining book», Publishing House of Moscow State University, publishing house «Mining Book», 2009. 684 p.
8. Peshkova M.H. Economic assessment of mining projects / M.H. Peshkova // - Moscow: Publishing House of Moscow State University, 2003. - 422 p.
9. Uvarin N.L. Economic methods of enterprise management / N.L. Uvarin // - Moscow: Publishing House of Moscow State University, 2002. - 500 p.
10. Melnikov N.N. Economic aspects of field development / N.N. Melnikov, V. M. Busyrev // - Apatity: ed. KNC RAS, 2001. - 156 p.
11. Arsentiev A.I. Making decisions about the parameters of a career / A.I. Arsentiev // - Leningrad.: LGI, 1982. - 60 p.
12. Kantemirov V.D. Technological features of open-pit mining of high-purity quartz / V.D. Kantemirov, R.S. Titov, A.M. Yakovlev, M.V. Kozlova // Izvestiya Vuzov Mining Journal. - 2020. - No. 6 - pp. 14-25.
13. Kantemirov V.D. Analysis of operational indicators of mining equipment of the leading iron ore quarries of Russia / V.D. Kantemirov, R.S. Titov, A.M. Yakovlev // Izvestiya Vuzov Gornyzhurnal. - 2019. - No. 2. - pp. 40-50.

14. Ganopolsky M.I. Methods of conducting blasting operations. Special explosive works /M.I. Ganopolsky, V.L. Baron, V.A. Belin, V.V. Pupkov, V.I. Sivenkov// - Moscow: Publishing House of Moscow State University, 2007. - 563 p.
15. Sokolov I. V. Substantiation of optimal parameters of drilling and blasting operations during quartz stripping /I. V. Sokolov, A. A. Smirnov, A. A. Rozhkov// Mining information and analytical bulletin. - 2016. - No. 7. - pp. 337-350.
16. Sokolov I. V. Improving the efficiency of quartz mining using a flat system of dispersed charges / I. V. Sokolov, A. A. Smirnov, A. A. Rozhkov// News of higher educational institutions. Mining journal. - 2018. - No. 1. - pp. 56-65.
17. Kutuzov B.N. Design and organization of blasting operations /B.N.Kutuzov, V.A. Belin// Moscow: Publishing House «Mining Book», 2012. - 416 p.
18. Sokolov I.V. Quartz rebounding by dispersed borehole charges during underground mining / I.V. Sokolov, A.A. Smirnov, A.A. Rozhkov// Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). - 2017. - No. 10. - pp. 178-185.
19. Baranovsky K.V. Investigation of the parameters of the technology of underground mining of granular quartz / K.V. Baranovsky, A.A. Rozhkov// Proceedings of Tula State University. Earth Sciences. - 2019. - No. 3. - pp. 123-135.
20. Sokolov I.V. Expediency of underground mining of small quartz veins / I.V. Sokolov, A.A. Smirnov, Yu.G. Antipin, K.V. Baranovsky, I.V. Nikitin, A.A. Rozhkov// Bulletin of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov. - 2018. - Vol. 16. No. 2. - pp. 4-13.
21. Sokolov I.V. Results of experimental studies of underground mining of high-value quartz in the conditions of the Kyshtym mine / I.V. Sokolov, A.A. Smirnov, Yu.G. Antipin, K.V. Baranovsky, I.V. Nikitin, A.A. Rozhkov // Physico-technical problems of mineral development. - 2018. - No. 1. - pp. 97-106.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS



Кантемиров Валерий Данилович:
кандидат технических наук,
заведующий лабораторией Управления качеством
минерального сырья,
Институт горного дела, Уральское Отделение
Российской Академии Наук.
г. Екатеринбург, Россия,
e-mail: ukrkant@mail.ru

Kantemirov Valery Danilovich:
candidate of engineering sciences,
Quality management laboratory chief,
Institute of Mining of Ural branch of Russian Academy
of Sciences,
Yekaterinburg, Russia,
e-mail: ukrkant@mail.ru



Титов Роман Сергеевич:
старший научный сотрудник,
лаборатория Управления качеством минерального
сырья,
Институт горного дела, Уральское Отделение
Российской Академии Наук.
г. Екатеринбург, Россия,
e-mail: ukrigd15@mail.ru

Titov Roman Sergeevich:
senior researcher,
Quality management laboratory,
Institute of Mining of Ural branch of Russian Academy
of Sciences,
Yekaterinburg, Russia,
e-mail: ukrigd15@mail.ru



Яковлев Андрей Михайлович:
старший научный сотрудник,
лаборатория Управления качеством минерального
сырья,
Институт горного дела, Уральское Отделение
Российской Академии Наук.
г. Екатеринбург, Россия,
e-mail: quality@igduran.ru

Yakovlev Andrei Michailovich:
senior researcher,
Quality management laboratory,
Institute of Mining of Ural branch of Russian Academy
of Sciences,
Yekaterinburg, Russia,
e-mail: quality@igduran.ru

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей. / The authors participated equally in the writing and collection of the material, as well as its processing.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.