Изучение структуры рудного поля и свойств пород месторождения Делькен с целью обоснования оптимальной конструкции бортов карьера

Потапчук М. И.^{1*}, Рассказов И. Ю.¹, Ломов М. А.¹, Рассказов М. И.¹

¹ Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия

*e-mail: potapchuk-igd@mail.ru

Реферат

Введение. Для определения одного из основных проектных параметров, обосновываемых технико-экономическими и геомеханическими расчетами, предельного угла откоса нерабочего борта карьера на месторождении Делькен, зависящего от свойств и состояния горных пород, составляющих борт и его конструкции, а также формы и элементов залегания полезного ископаемого, были выполнены комплексные исследования, включающие определение геолого-структурных особенностей месторождения, включая эндогенную и экзогенную трещиноватость, а также детальное изучение физико-механических свойств пород и руд.

Цель работы. Исследования геолого-структурных особенностей месторождения для расчета и обоснования оптимальной и безопасной конструкции бортов карьера при освоении рудных запасов на золоторудном месторождении Делькен.

Методология. Работы по определению структурных особенностей участка Водораздельный проводились путем сравнительного анализа геологических разрезов и карт, структурной документации керна и составления схемы блокировки пород по степени их нарушенности при отработке месторождения карьером. Физико-механические свойства горных пород определялись в лабораторных условиях. Численный расчет устойчивости бортов выполнялся с применением современных программных средств.

Результаты. Выполненные комплексные исследования, включающие анализ горно-геологических условий разработки, выявление геолого-структурных особенностей месторождения, детальное изучение свойств горных пород, составляющих откосы карьерной выемки, позволили обосновать рациональную конструкцию бортов карьера при освоении рудных запасов месторождения.

Выводы. Результаты выполненных на месторождении исследований могут быть использованы для обоснования наиболее безопасной технологии вскрытия и порядка отработки месторождения.

Ключевые слова: горные породы; месторождение; структурные особенности; нарушенность массива; физико-механические свойства; борт и уступы карьера; устойчивость.

Введение. Эффективное освоение месторождений полезных ископаемых возможно на основе достоверной информации не только о запасах минерального сырья, но и о горно-геологических и горнотехнических условиях разработки. Обоснование технологии вскрытия и порядка отработки месторождения, а также определение параметров системы разработки возможно только после детального изучения структурно-тектонических особенностей месторождения и свойств горных пород, составляющих массив [1].

Одним из основных проектных параметров, который обосновывается технико-экономическими и геомеханическими расчетами, является угол откоса борта карьера, от величины которого зависит объем пустых пород, включаемых в контур карьера и размер отвода под внешние отвалы, а также безопасность отработки [2–4]. Предельный угол откоса нерабочего борта карьера на месторождении зависит от свойств и состояния горных пород, составляющих борт, его конструкции,

обусловленной параметрами нерабочих уступов, шириной и числом берм различного назначения, а также формой и элементами залегания полезного ископаемого. Для определения этого параметра на месторождении Делькен были выполнены комплексные исследования, включающие определение геолого-структурных особенностей месторождения, включая эндогенную и экзогенную трещиноватость, а также детальное изучение физико-механических свойств пород и руд, к числу которых относятся: плотность, прочностные и ряд других характеристик.

Геолого-структурные особенности месторождения. По административному делению площадь месторождения Делькен относится к Ульчскому району Хабаровского края, районным центром которого является село Богородское. Ближайший населенный пункт, пос. Киселевка, находится в 40 км к юго-востоку от объекта, на левом берегу р. Амур (*Кайдалов В. А., Анойкин В. И., Беломестнова Т. Д. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Николаевская. Лист М-54-I (в рукописи). ХТФГИ, 2007.*).

В структурном плане месторождение Делькен находится на сочленении двух крупных тектонических структур зоны Авланбира-Солдерунского разлома субмеридионального направления и Делькенской рудоносной структуры северо-восточного простирания. Рудоносная структура Делькенская прослеживается на 8 км в северо-восточном направлении. В ее северо-восточной части, в верхнем течении одноименного ручья, правого притока р. Лимурчан, выявлены участки Буровой и Водораздельный, которые составляют месторождение Делькен. Участок Водораздельный занимает пространство в самой широкой части структур сочленения на водоразделе ручьев Левый Делькен и Делькен. На правобережье ручья Делькен находится участок Буровой. Ширина зоны измененных пород варьирует в пределах 300–700 м, и лишь на отрезке, вмещающем северный блок участка Водораздельный, ширина ее достигает 1400 м (рис. 1) (*Космина Н. И. и др. Отчет о результатах поисковых работ на рудное золото: Поисковые работы на рудное золото в пределах Лимурчанской перспективной площади (Делькенский объект). Хабаровский край. ХТФГИ. Хабаровск, 2011.*).

На участке Водораздельном предполагается наличие более двух десятков пространственно сближенных минерализованных (рудных) зон различной протяженности (от 200 до 900 м) и мощности (от первых метров до 70 м), изученных с разной степенью детальности. Простирание рудных тел северо-восточное от 17°–30°, в основном 35°–50°, до 60°–70°; падение крутое 87°–90° до 70°–85° на северо-запад и юго-восток. Минерализованные зоны и рудные тела выходят на дневную поверхность, иногда имеют слепое залегание. Размах оруденения по падению рудных тел на участке Водораздельном достигает 205–245 м от поверхности.

Площадь месторождения сложена кремнистыми, кремнисто-глинистыми породами бокторской (T_2-J_2bk) толщи и породами ульбинской (J_2ul) и силинской (J_3sl) свит, смятыми в крутые (в основном изоклинальные) складки и разбитыми многочисленными разрывными нарушениями различной ориентировки, протяженности и мощности. Кремнистые, кремнисто-глинистые породы бокторской толщи (T_2-J_2bk) прослежены в виде вытянутых в северо-восточном направлении полос шириной от 100–150 до 300–400 м в пределах северо-западной части площади. Эти породы обнажаются в ядрах антиклинальных складок. Мощность толщи до 350 м.

В составе ульбинской свиты преобладают алевролиты с прослоями песчаников, слагающие центральную часть месторождения. Мощность свиты достигает 750 м. Силинская свита, представленная песчаниками или горизонтами переслаивания песчаников с алевролитами, имеет ограниченное развитие на юго-восточ-

Рис. 1. Геологический план и разрез участка Водораздельный месторождения Делькен (Космина Н. И. и др. Отчет о результатах поисковых работ на рудное золото: Поисковые работы на рудное золото в пределах Лимурчанской перспективной площади (Делькенский объект). Хабаровский край. ХТФГИ. Хабаровск, 2011.):

1: а – зоны дробления, б – малоомощные зоны дробления; 2 – зоны интенсивной трещиноватости; 3 – зоны интенсивно прожилковых и метасоматически окварцованных, сульфидизированных, брекчированных и дробленых пород с золотым оруденением (рудные зоны) – а, предполагаемые – б; 4 – рудные тела околурудные – а, предполагаемые – б; 5 – каналы, их номера; 6 – контуры проектируемого карьера; 7 – Улибинская свита. Алевролиты, переслаивание алевролитов и песчаников, прослои и линзы кремнистых и кремнисто-глинистых пород; 8 – Бокторская толща. Кремнистые, кремнисто-глинистые породы; 9 – аллювиальные пески, галечники, глины; 10 – позднекаменноугольный нижнеамурский комплекс. Гранодиорит-порфиры; 11 – Силинская свита. Песчаники, алевролиты, пачки переслаивания песчаников и алевролитов; 12 – линия бурового профиля, его номер и азимут

Fig. 1. Geological plan and section of Vodorazdelny ground at Delken deposit (Kosmina N. I. et al. Report on the results of lode gold exploration: Lode gold exploration within Limurchansky prospect (Delken project). Khabarovsk region. Khabarovsk Local Fund of Geological Information. Khabarovsk; 2011):

1: а – зоны излома, б – тонкие зоны излома; 2 – зоны интенсивного заложения; 3 – зоны интенсивной вены, метасоматическая, кварцевая, сульфидная, брекчиеватая и раздробленная порода с золотой минерализацией (рудные зоны) – а, гипотетическая – б; 4 – выделенные рудные тела – а, гипотетическая – б; 5 – траншеи и их номера; 6 – контуры намеченной открытой шахты; 7 – Улибинский ряд. Алевролит, интерслоистость алевролитов и песчаников, интерслои и линзы из силика и силика-глинистой породы; 8 – Бокторская страта. Силика и силика-глинистая порода; 9 – аллювиальный песок, гравий и глина; 10 – поздний меловой комплекс Нижнего Амура. Гранодиорит-порфирит; 11 – Силинский ряд. Песчаники, алевролиты, и интерслоистые слои песчаника и алевролитов; 12 – линия бурового профиля, ее номер и азимут

ном фланге месторождения, ее мощность достигает 600 м. В результате метасоматоза осадочные породы превращены в кварц-серицитовые, серицит-кварцевые, серицит-кварц-адуляровые, кварцевые гидротермалиты.

Широко развиты крутопадающие дайки спессартитов протяженностью от 60–100 м до 350 м, мощностью от 0,5 до 8 м. Они имеют северо-восточное и субмеридиональное простирание, редко субширотное и широтное. Дайки, приуроченные к мощным протяженным нарушениям, существенно изменены – карбонатизированы, окварцованы, альбитизированы, рассечены сульфидно-кварцевыми, сульфидно-кварц-карбонатными прожилками. В них нередко концентрируются наиболее богатые руды.

Интенсивно проявлена на площади рудопроявления разрывная тектоника. В центральной части участка Водораздельного породы интенсивно катаклазированы. Наблюдаются многочисленные зоны дробления северо-восточного простирания, совпадающие с генеральным направлением складчатых структур. Нарушения северо-восточного и субмеридионального направлений являются рудовмещающими и часто приурочены к осевым частям крутопадающих изоклинальных складок. Разрывные нарушения субширотной и северо-западной ориентировки, ограниченные разломами северо-восточного направления, представляют собой фрагменты дуговых разломов, заложенных при формировании Лимурчанского массива [5]. Они представлены в основном зонами интенсивной трещиноватости пород. Стержневые зоны метасоматитов являются минерализованными (рудными) зонами, вмещающими золотое оруденение. Они залегают в виде линейно вытянутых в северо-восточном или субмеридиональном направлении тел мощностью от 3–5 до 70 м, протяженностью от нескольких десятков до сотен метров. Зоны интенсивного прожилкового окварцевания отчетливо проявляются в геохимических и геофизических полях, прослеживаются делювиальными свалами измененных пород, сопровождаются геохимическими ореолами золота с повышенным содержанием Mo, Cu, W и др.

Авторами выполнен анализ материалов фотодокументации керна скважин, расположенных на профилях 100, 101, 102, 104, 105, 105+60 и 107 (рис. 1), общей протяженностью около 4688 м. До этого на площади рудного поля были отобраны образцы и задокументирован керн скважины Г-4, осмотрены и частично задокументированы каналы на участке Водораздельном в интервале профилей 102–107, что послужило основой при дешифрировании фотодокументации керна отмеченных скважин. В результате выделены следующие морфологические и генетические типы нарушений: зоны трещиноватости, зоны смятия, зоны развальцевания, нарушения с тектонической глиной, зоны катаклаза.

В морфологических типах отражается интенсивность тектонических процессов: максимум характерен для зон катаклаза и тектонических глин, минимум – для зон тектонической трещиноватости. Глины подчеркивают очень высокую степень деструкции пород, их полное минеральное и структурное преобразование в процессе тектонического воздействия. В какой-то мере черты первичного строения сохраняются в зонах развальцевания, но в результате многократного динамического воздействия породы не только дробятся, но и окатываются. Более сохранными и относительно близкими к первичным текстурно-структурным осо-

бенностям и минеральному составу выглядят исходные образования в зонах смятия. Первичный минеральный состав и структура практически сохраняются в породах из зон тектонической трещиноватости.

Первые два типа характерны для верхних горизонтов месторождения. При этом им свойственны как круто-, так и пологопадающие формы. Остальные морфологические типы нарушений проявляются на более глубоких горизонтах месторождения. Зоны развальцевания, катаклаза имеют в основном крутопадающий характер. Насыщенность разрывными структурами на участке очень высокая. Все породы характеризуются напряженно-активным состоянием, что проявляется в развитии сланцеватых текстур, а также занозистых и игольчатых сколах пород, в целом – высокой хрупкости пород. Отношение суммированных линейных параметров (стволовой мощности) всех типов нарушений к определенному интервалу, для Делькенского месторождения этот интервал составляет 30 м, определялось авторами как нарушенность пород.

Методически работы проводились в несколько этапов [6]. На первом этапе на основе сравнительного анализа геологических разрезов и карт выделялись основные типы нарушений и устанавливалась интенсивность их проявления по пятибалльной системе: 1 – слабо проявленные процессы (нарушенность до 15 %), 2 – умеренно проявленные процессы (16–40 %), 3 – средней интенсивности процессы (41–60 %), 4 – интенсивные процессы (61–80 %), 5 – высокой интенсивности процессы (более 80 %). Интенсивность тектонических процессов находит отражение в таких признаках, как количество трещин на единицу длины керна, их морфологических особенностях, наличии зеркал и борозд скольжения, характере минеральных преобразований и минеральном наполнении. Это проявляется также в размере столбиков керна, их хрупкости, заостренности торцевых частей и др. Определялись эталоны зон трещиноватости, смятия, развальцевания, катаклаза. С эталонами периодически сравниваются нарушения, не всегда отчетливо диагностируемые по фотографиям.

Во второй этап входила структурная документация керна (по фотоматериалам) с заполнением журналов наблюдаемыми данными. В описании отмечался тип структур, их интенсивность, стволовая мощность, минеральная выраженность. Достаточно высокая фоновая трещиноватость не учитывалась. Для целей определения устойчивости массива горных пород достаточно надежным критерием является стволовая мощность разрывных структур. Она отражает не только уровень (ранг) проявления дизъюнктива, но и в целом нарушенность всего блока пород и руд, поскольку при умеренных углах наклона скважин (около 600) величина горизонтального проложения скважины значительна.

Третий этап включал составление схемы блокировки пород по степени их устойчивости при отработке месторождения карьером. При этом на схеме показаны элементы нарушенности пород в приповерхностной части (до глубины 20 м).

В границах карьера четко обособляются два блока – Западный и Восточный (рис. 2). Западный блок, оконтуренный по данным 10 скважин, характеризуется максимально высокой степенью нарушенности горных пород. Размеры его составляют 300 × 500 м. Блок вытянут в субмеридиональном направлении, что отражает в определенной мере проявленность нарушений субмеридиональной ориентировки (возможно, скрытая система нарушений субмеридионального простирания). Поле достаточно однородно, несмотря на существенное гидротермальное изменение исходных пород, и совпадает с небольшим хребтом субмеридиональной ориентировки. Вероятно, это объясняется значительным количеством тектонических швов и даек в этой части объекта, что и предопределяет устойчивость бортов планируемого карьера.

Восточный блок, размером 400 × 800 м, оконтурен по данным 17 скважин и в целом имеет субмеридиональную ориентировку, располагаясь на восточном склоне отмеченного хребта. Но, в отличие от Западного блока, он резко дифференцирован по значениям степени нарушенности пород. Его внутренняя структура неоднородна. В северной и южной частях отмечается максимальная нарушенность пород, а в центральной части – их относительно высокая сохранность.

Рис. 2. Схема локального районирования горного массива по устойчивости пород к разрушению в границах планируемого карьера. Месторождение Делькен:

1–6 – зоны различной степени нарушенности пород (в %): 1 – более 90, 2 – 80–89, 3 – 70–79, 4 – 60–69, 5 – 50–59, 6 – 40–49; 7 – местоположение скважин: номер скважины – красный, степень нарушенности в % – синий; 8 – планируемые контуры карьера

Fig. 2. The scheme of the rock mass local zoning according to rock stability against breaking within the limits of the designed open pit. Delken deposit:

1–6 – zones with various degree of rock disturbance (%): 1 – more than 90, 2 – 80–89, 3 – 70–79, 4 – 60–69, 5 – 50–59, 6 – 40–49; 7 – wells location: well number – red, disturbance degree in % – blue; 8 – planned contours of the open pit

При этом аномалии значений нарушенности пород имеют субширотную, а на отдельных участках – северо-восточную ориентировку. Устанавливается, по крайней мере, четыре таких аномалии. Зависимость от рельефа не столь четкая, как в Западном блоке. Для блока характерны нарушения меридионального, широтного и северо-восточного простираний.

Устойчивость проектных бортов карьера и обоснование предельных значений углов откоса. В ходе исследований в лабораторных условиях были определены физико-механические свойства вмещающих горных пород и руд, слагающих прибортовой массив. Было отобрано 89 проб (кернов) горных пород при бурении геологоразведочных скважин на месторождении, из них с применением камнерезной машины Geocut подготовлены образцы для проведения испытаний основных характеристик.

Прочностные характеристики (сцепление и угол внутреннего трения), необходимые для расчетов устойчивости бортов, были определены в ходе построения паспорта прочности горных пород согласно ГОСТу 21153.8-88. Результаты основных характеристик горных пород, необходимых для расчетов, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Физико-механические характеристики горных пород месторождения Делькен
Table 1. Physical and mechanical characteristics of rock at Delken deposit

Наименование породы	Номер и обозначение на разрезе (рис. 1)	γ , т/м ³	$\sigma_{сж}^с$, МПа	$\sigma_{сж}^в$, МПа	σ_p , МПа	C , МПа	ϕ , град
Темно-серые тонкослоистые аргиллиты углефицированные	1 T ₂ -J ₂ bk	2,8	176,9	170,2	5,8	19,3	41
Аргиллиты от светло-серых до темно-серых давления	2	2,65	100,3	118,2	5,5	18,7	41
Светлые буровато-серые кварц-полевошпатовые до кварцевых метасоматиты по углисто-кремнистым сланцам	3	2,76	104,1	106,1	5,3	14	40
Светло-серые с буроватым оттенком тонко-зернистые песчаники	4 J ₂ ul	2,77	119,9	106,9	8,8	18,3	39

γ – удельный вес; $\sigma_{сж}^с$ – прочность на одноосное сжатие сухого образца; $\sigma_{сж}^в$ – прочность на одноосное сжатие влажного образца; σ_p – прочность на одноосное растяжение; C – сцепление; ϕ – угол внутреннего трения.

Расчет устойчивости проектируемых бортов проводили в несколько этапов: анализ физико-механических свойств горных пород месторождения и горно-геологической информации; выбор профилей, отражающих конструкцию бортов карьера; определение нормативных прочностных характеристик прибортового массива; обоснование величины коэффициента запаса устойчивости; разработка моделей и непосредственно численный расчет с использованием программы GEO5, предназначенной для проектирования и анализа устойчивости откоса грунтового массива [7, 8].

Для расчета устойчивости бортов карьера были выбраны 3 поперечных разреза по профильным линиям 104+60 и 106, на которые нанесена подробная геологическая и горнотехническая информация.

В соответствии с *Методическими указаниями по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов, строящихся и эксплуатируемых карьеров* ВНИМИ и учитывая сейсмичность района месторождения и данные СНиП II-7-81*, была обоснована нормативная величина коэффициента запаса для бортов карьеров, составляющая 1,6, а для нерабочих уступов, оформляемых в скальных породах – 2,1.

Известно, что прочностные характеристики горных пород в массиве и в образце отличаются [9]. Используя формулу для определения сцепления в массиве скальных и полускальных пород C_m п. 2.8 *Методических указаний...* было определено сцепление для всех типов пород, слагающих борта проектируемого карьера (табл. 2).

Таблица 2. Физико-механические характеристики горных пород для расчета устойчивости бортов месторождения Делькен
Table 2. Physical and mechanical characteristics of rock for pit walls stability analysis at Delken deposit

Наименование породы	C в образце, МПа	Размер структурного блока, м	α	λ	C_m , МПа	φ , град	γ , т/м ³
Темно-серые тонкослоистые аргиллиты углефицированные	19,3	0,6	7	0,021	1,12	30	2,8
Аргиллиты от светло-серых до темно-серых давленные	18,7	0,4	3	0,04	0,72	28	2,65
Светлые буровато-серые кварц-полевошпатовые до кварцевых метасоматиты по углисто-кремнистым сланцам	14	0,4	6	0,023	0,5	28,5	2,76
Светло-серые с буроватым оттенком тонко-зернистые песчаники	18,3	0,6	6	0,024	0,53	26,5	2,77

C – сцепление; α – коэффициент, зависящий от сцепления в образце; λ – коэффициент структурного ослабления; C_m – сцепление в массиве; φ – угол внутреннего трения; γ – удельный вес.

Расчет устойчивости бортов с использованием полученных расчетных физико-механических характеристик (см. табл. 2) и был выполнен на двумерной модели грунтового массива. При этом массив грунта формируется профилем слоя.

Таблица 3. Результаты расчета устойчивости откосов бортов
Table 3. The results of the pit walls stability analysis

Наименование разреза	Этап отработки, высота борта, м	Северо-западный борт		Этап отработки, высота борта, м	Юго-восточный борт	
		Угол откоса борта, град	Коэффициент запаса устойчивости		Угол откоса борта, град	Коэффициент запаса устойчивости
Разрез 106	1 этап, 314 м	28	1,90	1 этап, 180 м	47	1,70
	2 этап, 516 м	29	1,61			
Разрез 104+60	1 этап, 230 м	35	2,14	2 этап, 160 м	50	1,67
	2 этап, 432 м	34	1,62			
Разрез 101	1 этап, 166 м	29	3,33	1 этап, 140 м	41	3,04

Каждый уступ определяется его геометрией и материалом. Материал уступа представляется грунтом с установленными свойствами. Используемая программа GEO5 позволяет смоделировать круглоцилиндрическую поверхность скольжения по следующим методам расчета: Феллениуса–Петерсона, Бишопа, Спенсера, Джанбу, Моргенштерна–Прайса, Шахунянца и ITF [10, 11].

Результаты расчетов устойчивости на различных этапах отработки по мере углубления горных работ представлены в табл. 3 [12].

По результатам расчетов установлено, что угол северо-западного борта по профильной линии 106 для обеспечения устойчивости не должен превышать на конечном контуре при достижении высоты 516 м – 29°. Юго-восточный борт высотой 180 м сохранит свою устойчивость при угле откоса 47°. Для профильной линии 104+60, где борт сложен преимущественно светло-серыми песчаниками, устойчивый угол откоса на конечном контуре составит 34°, при этом коэффициент устойчивости составит 1,62.

Для профильной линии 101, проходящей через центральную часть карьера, где глубина карьерной выемки недостаточно большая, северо-западный и юго-восточный борта карьера будут сохранять устойчивость при углах откоса 29° и 41° соответственно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Baryshnikov V. D., Baryshnikov D. V., Fedyanin A. S., Pul' E. K. Geomechanical monitoring of open-pit bottom reserves in mir mine, Alrosa: results // *Journal of Mining Science*. 2017. Vol. 53. No. 1. P. 34–42.
2. Козырев А. А., Решетняк С. П., Каспарьян Э. В., Рыбин В. В., Кампель Ф. Б. Обоснование рациональной конструкции конечного борта карьера рудника «Железный» ОАО Ковдорский ГОК // *ГИАБ*. 2004. С. 243–250.
3. Sashurin A. D., Panzhin A. A., Kharisov T. F., Knyazev D. Yu. Innovative approaches to rock mass stability in mining high-grade quartz veins // *Eurasian Mining*. 2016. No. 2(26). P. 3–5.
4. Alejano L. R., Pons B., Bastante F. G., Alonso E., Stockhausen H. W. Slope geometry design as a means for controlling rockfalls in quarries // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2007. Vol. 44. Issue 6. P. 903–921.
5. Кудымов А. В. Лимурчанский разлом: строение, кинематические характеристики // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит: матер. IV Всерос. конф. с междунар. участием, Владивосток, 17–23 сентября 2018 г. Владивосток: Дальнаука, 2018. С. 55–57.
6. Рассказов И. Ю., Крюков В. Г., Потапчук М. И., Сидляр А. А. Геомеханические исследования структурных особенностей массива горных пород при проектировании карьера месторождения Дяппе // *Маркшейдерия и недропользование*. 2018. № 5(97). С. 52–59.
7. Шишко С. А. Анализ современных комплексов программного обеспечения для расчета устойчивости склонов // Матер. междунар. науч.-практ. конф. Ростовский государственный строительный университет, Союз строителей южного федерального округа, Ассоциация строителей Дона. Ростов-на-Дону, 2015. С. 410–413.
8. Абди Р. Н. Расчет устойчивости северного борта карьера «Центральный» Расвумчоррского рудника // *Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых: матер. конф. Пермь: ПНИПУ, 2017. № 1. С. 238–241.*
9. Фисенко Г. Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М.: Недра, 1965. 378 с.
10. Емченко М. А. Совершенствование методики расчета устойчивости бортов карьеров нагорного типа // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2012. № 5(5). С. 128–130.
11. Romer C., Ferentinou M. Numerical investigations of rock bridge effect on open pit slope stability // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2019. Vol. 11. Issue 6. P. 1184–1200.
12. Потапчук М. И., Рассказов И. Ю., Сидляр А. В., Терешкин А. А. Обоснование оптимальных параметров борта карьера сложноструктурного месторождения графита // *Вестник ТОГУ*. 2015. № 4(39). С. 57–64.

Поступила в редакцию 26 мая 2020 года

Сведения об авторах:

Потапчук Марина Игоревна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института горного дела ДВО РАН. E-mail: potapchuk-igd@mail.ru

Рассказов Игорь Юрьевич – доктор технических наук, научный руководитель Института горного дела ДВО РАН. E-mail: rasskazov@igd.khv.ru

Ломов Михаил Александрович – младший научный сотрудник Института горного дела ДВО РАН. E-mail: 9241515400@mail.ru

Рассказов Максим Игоревич – научный сотрудник Института горного дела ДВО РАН. E-mail: rasm.max@mail.ru

Studying ore field structure and rock properties of the Delken deposit to substantiate the optimal pit walls design

Marina I. Potapchuk¹, Igor Iu. Rasskazov¹, Mikhail A. Lomov¹, Maksim I. Rasskazov¹

¹ Institute of Mining FEB RAS, Khabarovsk, Russia.

Abstract

Introduction. In order to determine a key design parameter substantiated by technical-economic and geomechanical analyses, the critical angle of slope of the nonmining wall in Delken deposit pit which depends on the properties and the state of rock building up the wall and its structures, and in order to determine the forms and the elements of mineral occurrence, the authors carried out comprehensive research consisting of the of deposit's geological and structural features determination, including endogeneous and exogeneous jointing, and the detailed examination of physical and mechanical properties of rock and ore. **Research aim** is to study geological-structural properties of the deposit in order to analyze and substantiate the optimal and safe structure of pit walls when developing ore at the Delken gold deposit.

Methodology. The structural features of Vodorazdelny ground were determined by carrying out the comparative analysis of geological sections and maps, structural description of core and building the scheme of rock blocking according to the level of destruction during deposit opencast. Physical and mechanical properties of rock were determined in laboratory conditions. Numerical analysis of wall stability was fulfilled with modern software.

Results. The comprehensive research consisting of the analysis of mining and geological conditions of development, deposit's geological and structural features determination, detailed examination of the properties of rock building up the slopes of the quarry have made it possible to substantiate the rational design of pit walls when developing ore reserves of the deposit.

Summary. The results of the research carried out at the deposit may be applied when substantiating the safest technology of uncovering the deposit and the safest mining sequence.

Key words: rock; deposit; structural features; rock mass disturbance; physical and mechanical properties; pit wall and benches; stability.

REFERENCES

1. Baryshnikov V. D., Baryshnikov D. V., Fedyanin A. S., Pul' E. K. Geomechanical monitoring of open-pit bottom reserves in mir mine, Alrosa: results. *Journal of Mining Science*. 2017; 53(1): 34–42.
2. Kozyrev A. A., Reshetniak S. P., Kasparian E. V., Rybin V. V., Kampel F. B. Rationale for the rational design of the final pit wall at Zhelezny mine of Kovdorsky GOK. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2004: 243–250. (In Russ.)
3. Sashurin A. D., Panzhin A. A., Kharisov T. F., Knyazev D. Yu. Innovative approaches to rock mass stability in mining high-grade quartz veins. *Eurasian Mining*. 2016; 2(26): 3–5.
4. Alejano L. R., Pons B., Bastante F. G., Alonso E., Stockhausen H. W. Slope geometry design as a means for controlling rockfalls in quarries. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2007; 44(6): 903–921.
5. Kudymov A. V. Limurchansky fault: structure and kinematic characteristics. In: *Geological processes in the conditions of subduction, collision and shift of tectonic plates: proceedings of the 4th All-Russian conf. with internat. participation, Vladivostok, 17–23 September 2018*. Vladivostok: Dalnauka Publishing; 2018. p. 55–57. (In Russ.)
6. Rasskazov I. Iu., Kriukov V. G., Potapchuk M. I., Sidliar A. A. Geomechanical studies of the structural features of rock massif at designing a quarry of Dyappe deposit. *Marksheideriia i nedropolzovanie = Mine Surveying and Subsurface Use*. 2018; 5(97): 52–59. (In Russ.)
7. Shishko S. A. Analysis of modern software packages for wall stability analysis. In: *Proceedings of the International scientific and practical conference. Rostov State Construction University, Union of Constructors of the Ural Federal District, Association of Constructors of Don*. Rostov-on-Don; 2015. p. 410–413. (In Russ.)
8. Abdi R. N. Wall stability of analysis of Centralny pit of Rasvumchor mine. In: *Problems in hydrocarbon and ore deposits development: proceedings*. Perm: Perm National Research Polytechnic University Publishing; 2017; 1: 238–241. (In Russ.)
9. Fisenko G. L. *Pit walls and dumps stability*. Moscow: Nedra Publishing; 1965. (In Russ.)
10. Emchenko M. A. Upgrading the method of highland pit walls stability. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal = International Research Journal*. 2012; 5(5): 128–130. (In Russ.)
11. Romer C., Ferentinou M. Numerical investigations of rock bridge effect on open pit slope stability. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2019; 11(6): 1184–1200.
12. Potapchuk M. I., Rasskazov I. Iu., Sidliar A. V., Tereshkin A. A. Substantiation of the optimal parameters for the open cast flanks of a complex-structured graphite deposit. *Vestnik Tikhookeanskogo Gosudarstvennogo Universiteta = Bulletin of Pacific National University*. 2015; 4(39): 57–64. (In Russ.)

Information about authors:

Marina I. Potapchuk – PhD (Engineering), senior researcher, Institute of Mining FEB RAS. E-mail: potapchuk-igd@mail.ru

Igor Iu. Rasskazov – DSc (Engineering), researcher, Institute of Mining FEB RAS. E-mail: rasskazov@igd.khv.ru

Mikhail A. Lomov – junior researcher, Institute of Mining FEB RAS. E-mail: 9241515400@mail.ru

Maksim I. Rasskazov – researcher, Institute of Mining FEB RAS. E-mail: rasm.max@mail.ru

Для цитирования: Потапчук М. И., Рассказов И. Ю., Ломов М. А., Рассказов М. И. Изучение структуры рудного поля и свойств пород месторождения Делькен с целью обоснования оптимальной конструкции бортов карьера // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 6. С. 26–36. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-6-26-36

For citation: Potapchuk M. I., Rasskazov I. Iu., Lomov M. A., Rasskazov M. I. Studying ore field structure and rock properties of the Delken deposit to substantiate the optimal pit walls design. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 6: 26–36 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-6-26-36