© М.В. Курленя, М.Л. Медведев, Ю.И. Колдырев, В.Е. Кисляков, 2008

УДК 622.271.3

М.В. Курленя, М.Л. Медведев, Ю.И. Колдырев, В.Е. Кисляков

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ НИЖНЕЙ ЧАСТИ КАРЬЕРНОГО ПОЛЯ С ВНУТРЕННИМ ОТВАЛООБРАЗОВАНИЕМ НА КРУТОПАДАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Предложена технология с внутрикарьерным размещением пород для разработки нижней части карьерного поля на вытянутом крутопадающем рудном месторождении. Выполнен анализ применения технологии, выявлены тенденции изменения вместимости, внутрикарьерного отвала, дополнительного извлечения вскрышных пород, объёма пород в карьере на начало внутрикарьерного отвалообразования и энергоёмкости перемещения в зависимости от положения отвала в карьере.

Семинар № 14

При разработке крутопадающих месторождений открытым способом на глубине, превышающей 300-350 м, добыча полезного ископаемого характеризуется большими ресурсными издержками, как правило, с существенными отклонениями от порядка отработки месторождения, установленном проектом, с негативными последствиями. Другая ситуация имеет место при разработке горизонтальных, пологих и слабонаклонных месторождений. Здесь применяются технологии, позволяющие вести добычу полезного ископаемого с низким потреблением ресурсов, т.е. в технологиях реализован принцип полного или технически возможного в процессе добычи размещения вскрышных пород в выработанном пространстве карьера.

Добычу полезных ископаемых открытым способом на крутопадающих месторождениях осуществляют по технологиям, реализующим принцип полного удаления из карьера вмещающих пород и размещения их на поверхности, во внешних отвалах. Издержки на перемещение и размещение породы во внешнем отвале достигают 70–80 % от всех издержек производства вскрышных работ. При высоких значениях коэффициента вскрыши (больше 1), что характерно для месторождений цветных металлов, это весьма существенная статья расходов в структуре себестоимости извлечения полезного ископаемого.

Поиск технических решений снижения затрат на вскрышные работы ведётся в основном по трём направлениям:

- рациональное сочетание разных видов транспортных средств;
- увеличение угла откоса нерабочего борта;
- размещение вскрышных пород в выработанном пространстве карьера.

Первое направление тесно связано с созданием горнотранспортной техники, преимущественно автомобильного и конвейерного видов, которое успешно развивается, главным образом, за рубежом.

Научно-технические разработки второго направления на отдельных карьерах позволили уменьшить объёмы извлечения вскрышных пород до 90–100 млн. м^3, что способствовало значительному снижению издержек на производство добычи полезного ископаемого.

Разработки третьего направления ориентированы на подготовку и использование выработанного пространства для размещения в нём пород и некондиционного полезного ископаемого в процессе эксплуатации месторождения. В этом случае выработанное пространство рассматривается как производственный и экологический ресурс, позволяющий существенно снизить затраты на вскрышные работы, на добычу полезного ископаемого и ограничить отрицательное воздействие на окружающую среду. Данное направление исследований обращает на себя внимание не только с позиции решения экономических вопросов, но и связанных с транспортом полезных ископаемых и породы, устойчивостью бортов карьера и отвалов.

Авторами настоящей работы выполнены исследования в русле третьего направления и рассмотрены некоторые технологические решения для условий разработки рудных крутопадающих месторождений вытянутой формы.

Постановка задачи

Ограниченность применения технологии разработки крутопадающих рудных месторождений с внутрикарьерным отвалообразованием обусловлена трудностью построения коммуникативной связи «эксплуатационная зона – зона отвалообразования».

Особенно при многократной экскавации и перевозке пород. В настоящий момент наиболее реальным представляется технология с размещением в выработанном пространстве вскрышных пород и некондиционного полезного ископаемого в процессе разработки нижней части карьерного поля [1, 2, 3]. Однако и в такой постановке осуществление внутрикарьерного отвалообразования предполагает внесение радикальных изменений в технологическую систему разработки месторождения, дополнительных элементов, ведущих её к усложнению, в том числе к стеснённости условий производства горных работ и локальному расширению граничных контуров карьера. По характеру процесса технологическая система разработки месторождения весьма динамична, по конструктивному признаку – инерционна. На внесение конструктивных изменений, в зависимости от объёма, требуются годы и значительные средства. На заключительной стадии разработки карьерного поля вносить существенные изменения в технологическую систему нежелательно. Переход на внутрикарьерное отвалообразование должен осуществляться по заранее разработанному проекту, условию привлечения минимальных средств, компенсации возможных потерь полезного ископаемого и получения достаточного эффекта. Выполнение его зависит от множества факторов, но в первую очередь от своевременности соответствующих проработок и принятых решений, воплощенных в производство горных работ.

Особенности разработки месторождения с внутрикарьерным отвалообразованием.

Технологии с размещением пород в карьере индивидуальны, поскольку неповторимы сами месторождения, но имеется и общее, оно заключается в следующем.

1. Деление карьерного поля (вкрест простирания месторождения) на две части, опережающая отработка одной из них, в которой предусматривается раз-

мещение вмещающих пород из другой части карьерного поля, разрабатываемых в процессе подготовки запасов полезного ископаемого к извлечению.

2. Проектирование и осуществление размещения породы внутри карьера возможно только в той его части, в которой будет произведена или произведена полная выемка балансовых запасов и отсутствуют какие-либо перспективы для реконструкции карьера в плане и на глубину.

3. Изменение положения некоторого участка трассы и в связи с этим необходимость разноски нерабочего борта.

Выбор части карьерного поля для формирования пространства под размещение вскрышных пород и некондиционного полезного ископаемого, как правило, затруднений не вызывает. Приходится чаще всего на один из флангов, на котором горными работами раньше других достигаются граничные контуры. Сложнее с определением положения границы, своеобразной площадки, разделяющей карьерное пространство на часть ведения горных работ по извлечению полезного ископаемого и вскрышных пород и часть размещения извлекаемых пород. Разделительная площадка, завязывает на себе транспортные потоки, её положение в пространстве влияет на вместимость отвала, возможные потери полезного ископаемого и объём дополнительного извлечения вскрышных пород. Подготовка пространства под внутрикарьерный отвал ведётся опережающей разработкой выделенной части карьерного поля с одновременным устройством транспортных берм и съездов, необходимых для осуществления размещения в нем вскрышных пород и некондиционного полезного ископаемого. Их положение должно устанавливаться, исходя из достижения максимальной вместимости внутрикарьерного отвала, минимального дополнительного извлечения вскрышных пород и энергоёмкости процесса транспортирования.

Эффект внутрикарьерного отвалообразования, в первую очередь, заключается в радикальном снижении вскрышной нагрузки на извлечение запасов полезного ископаемого, находящихся в нижней части карьерного поля, которая в полной мере характеризуется второй составляющей выражения (1):

$$e_t = e_{r.t} + k_{v.t} e_{v.t}\,, \qquad (1)$$

где e_t – энергетический показатель добычи полезного ископаемого на интервале t, мДж/т; e_{rt}; e_{vt} – то же, извлечения руды и породы, мДж/т, мДж/м^3; $k_{v.t}$ – коэффициент вскрыши, м^3/т.

Её поведение в рассматриваемой задаче не однозначно. При прочих равных условиях зависит от расстояния перевозки и высоты подъёма породы. Минимум e_{vt} достигается, когда площадки погрузки и разгрузки породы находятся на одном горизонте, что предполагает устройство на нерабочем борту транспортных берм в количестве, равном числу рабочих уступов, с которых порода поступает во внутренний отвал. Минимуму $k_{v.t}$ соответствует условие полного отсутствия транспортных берм на нерабочем борту карьера. Влияние $k_{v.t}$ на показатель e_t весьма существенное [5], существенно и влияние устройства транспортных берм на приращение коэффициента вскрыши, по данным [4] может составить до 30-40 %.

На действующих карьерах, эксплуатирующих вытянутые месторождения, устройство транспортных берм на нерабочем борту, как дополнительных элементов технологии, необходимых для обеспечения транспортной связи между

рабочей зоной карьера (РЗК) и внутрикарьерным отвалом (ВнкО), чревато организационно-тех-нологическими осложнениями. Как правило, на нерабочих бортах, по периметру размещены транспортные, энергетические и другие коммуникации. Их нужно переносить, поскольку потребуется подвигать участок борта, на котором предполагается размещение берм - это, во-первых. Во-вторых, потребуется дополнительное извлечение значительного объёма вскрышных пород, оборудование будет работать в стеснённых условиях. В связи с этим, к устройству на нерабочем борту транспортных берм для перемещения породы во внутренний отвал следует прибегать в исключительных случаях. Например, при необходимости увеличения вместимости внутрикарьерного отвала, главным образом его срединной и верхней частей.

Целесообразным представляется оставление под транспортные бермы временных целиков в рабочей зоне карьера и использование ранее действовавших транспортных коммуникаций, потребность в которых отпадает, вследствие перехода на внутреннее отвалообразование. Временные целики эффективны для осуществления транспортной связи между РЗК и ВнкО при размещении породы в нижней части подготовленного пространства.

Их допустимое количество, от горизонта разделительной площадки, по условию безопасной работы технологического оборудования и транспортного доступа в РЗК, определяется по формуле:

$$n = \frac{F - 2b_t - d}{(Ctg\beta - Ctg\lambda) * h}, \qquad (2)$$

где F – ширина дна карьера на горизонте разделительной площадки, м; b_t – ширина транспортной бермы, съезда, м; d – ширина бермы безопасности на погашенном борту карьера, м; β – угол откоса борта карьера с транспортными бермами, град; γ – угол откоса борта карьера с погашенными уступами на граничном контуре, град; h – высота погашенного уступа на граничном контуре карьера, м.

При доставке породы в срединную и верхнюю части отвала рационально устраивать транспортную берму на нерабочем борту карьера с учётом привязки к стационарным транспортным коммуникациям. При этом берма может быть построена за счёт разноски борта за пределы граничного контура карьера или за счёт перепрофилирования ранее действовавших коммуникаций, потребность в которых отпадает, вследствие перехода на внутрикарьерное отвалообразование. Её рациональное высотное положение может быть установлено по выражению:

$$H = H_0 - \frac{F - 2b_t - d}{Ctg\beta - Ctg\gamma} - (f + 1) * h, \quad (3)$$

где H_0 - глубина карьера до горизонта разделительной площадки, м; f – количество ярусов внутреннего отвала высотой h, отсыпанных породами, доставленными по временным транспортным бермам, расположенным в РЗК, и съезду на отвале, продолжающему трассу верхней транспортной бермы, возведенному сопряжённо погашенному борту.

Объект и технологические средства.

Разработка и анализ возможного применения технологии с внутрикарьерным отвалообразованием выполнены на крутопадающем месторождении «Кия-Шалтырское», на базе патентов [6-8]. Месторождение относится к нагорно-глубинному типу. Нагорная часть отработана, интенсивно эксплуатируется глубинная, применяется продольно-поперечная система разработки. Рабочая

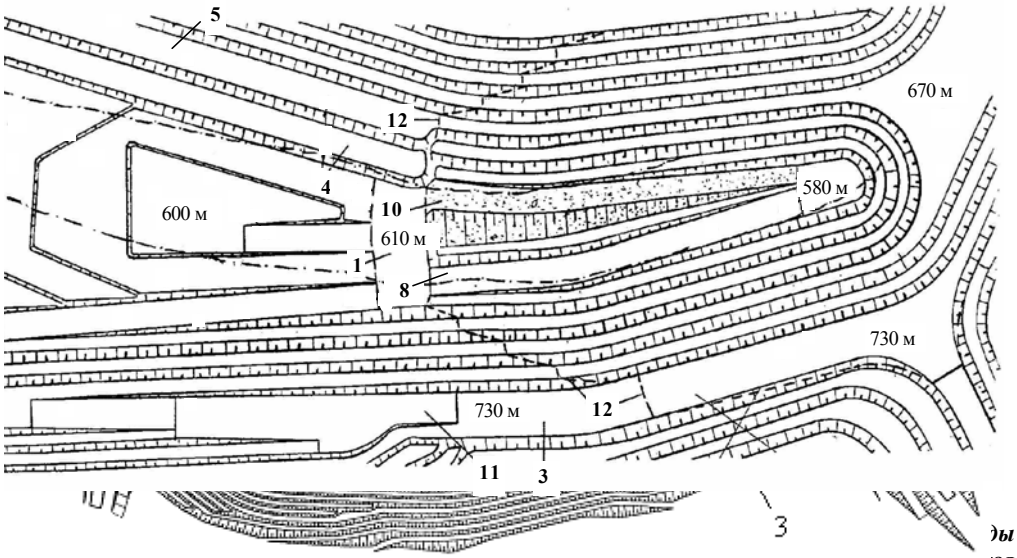
Рис. 1. Карьер на конец отработки: 0, II, IV – линии возможного разграничения карьера на рабочую и отвальную части; *2* – спиральный съезд; *3* – участок спирального съезда, вытесняемый внутрикарьерным отвалом

зона карьера в текущем времени представлена двумя – тремя рудными, и 10–12 вскрышными уступами, в своём большем числе локально сгруппированных по два, три и более. Горная масса подготавливается к извлечению буровзрыв-ным способом, применяются на погрузке экскаваторы цикличного действия, на транспортировании автосамосвалы.

Предельное дно карьера имеет ступенчатую форму (рис. 1) с результирующим углом наклона в южной части около 4°. Позволяет рассматривать эту часть карьерного поля в качестве безальтернативного участка опережающей разработки, с целью подготовки пространства для размещения в нем некоторого объёма вскрышных пород в процессе разработки месторождения.

Технологически это может быть осуществлено следующим образом. Прежде всего, имеет смысл перейти от продольно-поперечной формы фронта работ к диагонально-поперечной. Это открывает возможность улучшения условий формирования качественной характеристики извлекаемого полезного ископаемого, транспортного обеспечения рабочих уступов, рационализации режима горных работ. Его анализ показал, что рациональна двухэтапная отработка карьерного поля: первый этап с коэффициентом вскрыши 3,98 $м^3/м^3$ – порода вывозится во внешний отвал, второй с коэффициентом вскрыши 1,25 $м^3/м^3$ – во внутрикарьерный отвал.

Выделение этапов осуществлялось с учётом условия размещения максимального объёма вскрышных пород в выработанном пространстве в процессе разработки месторождения, а также трассы автомобильного съезда до конечной глубины карьера. Разграничение проходит по горизонтам 690–610 м. Горизонт 610 м является критическим, к моменту его подготовки завершается отработка запасов руды в южной части карьерного поля. В северной и центральной остаёт-



Южной части залежи ниже предельного контура: 1 – разделительный целик; 3 – вытянутая горизонтальная площадка; *4, 5* – транспортные бермы; *8, 10, 11* – съезды; *12* – контур отвала

Рис. 2. Вскрытие и порядок отработки карьерного поля при условии подготовки выработанного пространства для размещения внутреннего отвала:

1- разграничительная площадка; *2* – петлевой съезд; *3* – вытянутая горизонтальная площадка; *4, 5* – целики под транспортные бермы; *6* – запасы руды, ниже предельного дна карьера

ся значительный объём вмещающих пород, которые могут быть размещены в выработанном пространстве. В этой связи разграничение карьера разделительной площадкой на складскую I и рабочую II зоны рационально произвести на горизонте 610 м.

Размещением в южной части карьера породного отвала (рис. 1) вытесняется значительный участок съезда, что делает необходимым изменение положения трассы от площадки примыкания северо-восточной въездной траншеи к горизонту 760 м до проектного дна карьера. Исходя из минимума энергоёмкости перемещения вскрышных пород [5], рационально часть трассы, на величину вытесненного участка внутренним отвалом, разместить на северо-восточном борту в форме петли (рис. 2), уклон всей трассы увеличить до 8 %. В этом случае достигается минимум дополнительного извлечения пород. На юго-западном участке нерабочего борта вместо съезда на гор. 730 м образуется горизонтальная вытянутая площадка 3 (рис. 2), которую целесообразно использовать для перемещения автосамосвалов с породой и развития трассы на отвале при доставке породы в его срединную и верхнюю часть.

Для доставки породы в нижнюю часть внутрикарьерного отвала в процессе развития горных работ в РЗК по простиранию залежи, сопряжено восточному борту по условию (2) предусматривается формирование временных целиков 4 и 5 (рис. 2) под одноимённые транспортные бермы высотой, равной высоте погашенного уступа, с шириной верхнего основания 30 м, примыкающие к контуру внутреннего отвала.

Дополнительное извлечение руды

По действующей технологической системе в южной части карьерного поля

ниже отметки 610 м извлечение руды предусматривается при проходке съезда по восточному борту, с горизонта 610 м на горизонт 580 м в объёме 554,5 тыс. т. Рассматриваемой технологией также предусматривается извлечение руды, но в значительно большем объёме. Запасы отрабатываются на глубину, позволяющую по простиранию, сопряжено юго-западному борту, без изменения направления трассы, устроить (рис. 3) съезд 8 максимальной длины. С помощью съезда 10, возведённого из вскрышных пород, отрабатывается полезное ископаемое, находящееся в целике под съездом 8, после чего приступают к размещению породы в подготовленном внутрикарьерном пространстве.

Размещение пород в подготовленном пространстве карьера

Внутрикарьерный отвал формируется слоями высотой, равной высоте погашенного уступа на граничном контуре карьера. Слои объединяются в ярусы высотой 60 м, между которыми устраивается берма шириной 50 м. В нижнюю часть порода поступает сначала по целику 1, и после продвижения отвального фронта в южном направлении на величину 50-60 м организуется поток породы по транспортной берме 4, а затем и по берме 5. С опережением заполняется пространство со стороны восточного борта карьера. Этим обеспечиваются непрерывность потока породы во внутренний отвал и условия для возведения сопряженно восточному борту карьера из вскрышных пород съезда 10 (рис. 4) для отсыпки слоя, ограниченного горизонтами 670 и 700 м. Последующий слой отсыпается с площадки 3, на которую порода поступает по стационарному съезду 11 (рис. 4).

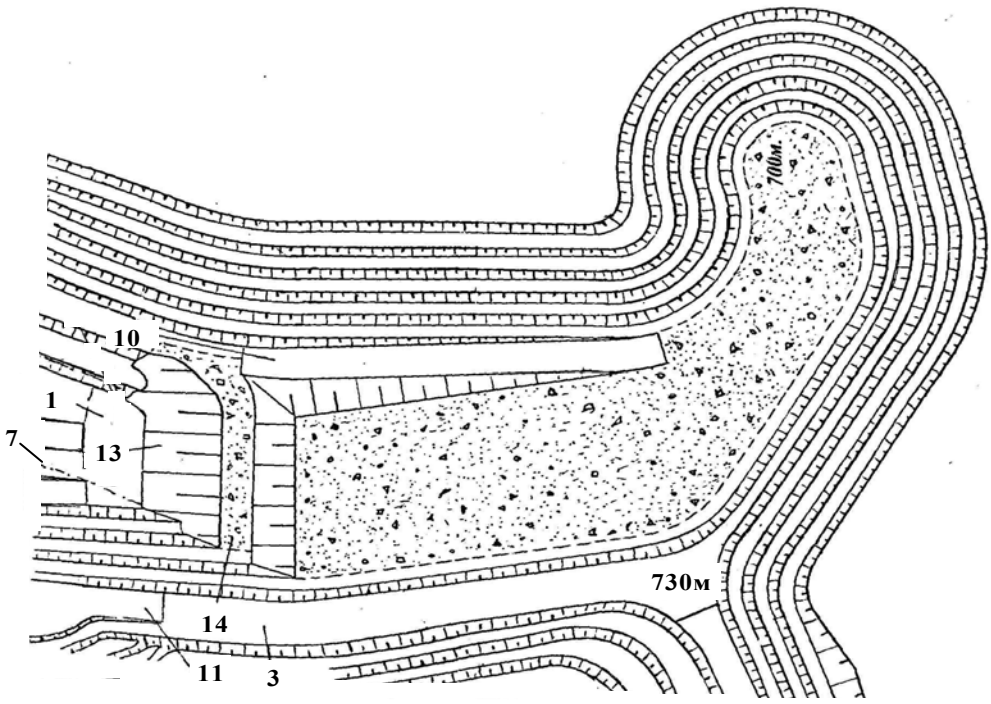


Рис. 4. Фрагмент карьера: транспортные коммуникации и формирование срединной части внутреннего отвала: *1* – разделительный целик; *3* – вытянутая горизонтальная площадка; *10, 11* – съезды; *13* – отвал, нижний ярус; *14* – берма безопасности

Для доставки породы в верхнюю часть отвала на площадке 3 и далее по спирали сопряженно погашенному борту из вскрышных пород возводится (рис. 5) съезд 15, который развивается в систему съездов до выхода к торцовому откосу отвала, и далее – по контуру отвала, не сопряженному с контуром карьера.

Варианты размещения внутрикарьерного отвала

Изучено три положения разграничительной площадки на горизонте 610 м (рис. 1): в зоне профилей 0, II и IV, характеризуемые различными параметрами

Характеристики технологии разработки нижней части карьерного поля по вариантам размещения внутрикарьерного отвала

Варианты размещения внутрикарьерного отвала	**Дополнительное извлечение руды**	**Дополнительное извлечение породы**	**Вместимость внутрикарьерного отвала**	**Объём породы в карьере***	**Энергоёмкость перемещения породы в отвал**
	млн. т	млн. $м^3$	млн. $м^3$	млн. $м^3$	мДж/т
0	-0,602	2,492	23,7	15,62	3,25
II	1,297	1,3	17,27	17,586	3,39
IV	0,83	0,68	12,75	19,57	3,53
Проектный	0	0	0	17,79	7,95

)* - на начало внутрикарьерного отвалообразования

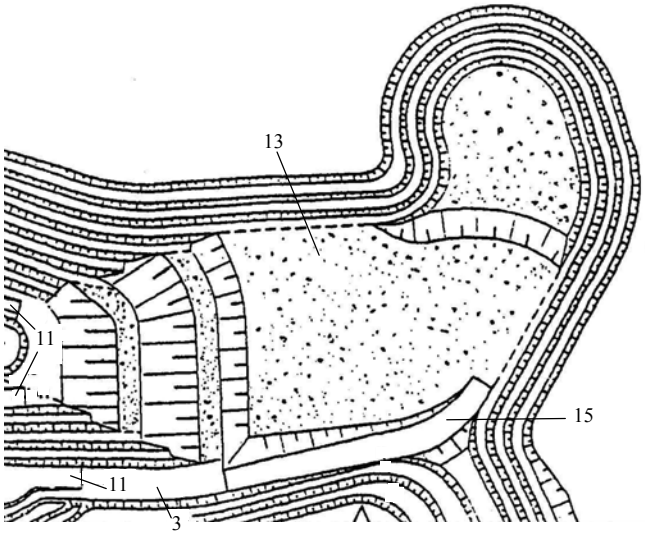


Рис. 5. Фрагмент карьера: размещение породы в верхней части отвала: *3* – вытянутая площадка; *11* – стационарный съезд; *13* – отвал; *15* – съезд для доставки породы в верхнюю часть отвала

вместимости внутрикарьерного отвала, потерь и извлечения полезного ископаемого ниже горизонта 610 м, извлечения вскрышных пород с начала размещения их во внутрикарьерном отвале (таблица).

Ни один вариант не имеет преимущества по всем показателям, но прослеживаются определенные закономерности. При перемещении разграничительной площадки в южном направлении уменьшается дополнительное извлечение вскрышных пород и вместимость внутрикарьерного отвала. Объём вмещающих пород в карьере на начало размещения в подготовленном техногенном пространстве, а также энергоёмкость их пере-мещения в отвал характеризуются противоположной тенденцией.

Дополнительное извлечение руды не обнаруживает видимой закономерности, поскольку показатели интегрируют в себе два противоположных процесса: приращение объёма руды за счёт углубления южной части карьера и потерь в разделительном целике. Перемещение положения разделительной площадки в северном на правлении, из-за увеличения мощности рудного тела и понижения предельного дна карьера, способствует увеличению объёма одноименного целика, увеличивается и извлечение руды в южной части карьера, но степень приращения меньше. Компенсационное влияние дополнительного извлечения руды в южной части уменьшается, чем и объясняется результат по варианту положения разделительной площадки в зоне профиля 0 (табл.).

Перемещение положения разделительной площадки в южном направлении уменьшает под ней объём одноименного целика, но уменьшает и возможность извлечения руды в южной части карьера. Наложение тенденций объясняет полученный результат по варианту положения разделительной площадки в зоне профиля IV.

По уровню всех показателей предпочтительнее вариант размещения внутрикарьерного отвала, определяемый положением разграничительной площадки в зоне профиля II. Отрицательная разность между объёмами вместительности отвала и породы в карьере на момент начала внутрикарьерного отвалообразования может быть устранена путем дополнительных аналитических изысканий.

Заключение

Рассмотренная технология достаточно эффективно решает проблему радикального снижения вскрышной нагрузки

на извлечение полезного ископаемого из нижней части карьерного поля при разработке вытянутых рудных крутопадающих месторождений. Энергоёмкость транспортирования – процесса, на который приходится до 80 % издержек – снижается более чем в два (2,25–2,45) раза, возможно дополнительное извлечение полезного ископаемого из запасов, находящихся за граничным контуром карьера. Однако реализуемость технологии предопределяется заблаговременностью исследовательских и проектных проработок, порядком ведения горных работ, осуществлением которого должны быть своевременно подготовлены все технологические элементы, необходимые для разработки нижней части карьерного поля с размещением пород во внутрикарьерном отвале.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трубецкой К.Н., Пешков А.А., Мацко Н.А.. Определение области применения способов разработки крутопадающих залежей с использованием заранее сформированного выработанного пространства карьера // Горный журнал, 1994. – № 1. с. 51 – 59.

2. *Эффективность* внутреннего отвалообразования на карьерах ОАО «СевГОК» / Н.И. Дядечкин, А.В. Романенко, А.Г. Черный, Ю.М. Николашин // Горный журнал, 2000. – № 8.

3. *Анализ* условий формирования внутреннего отвала при реконструкции карьера «Малый Куйбас» / Р.М. Габитов, С.Е. Гавришев, А.Р. Бондарева, Р.Р. Минаев // Горный информационно-анали-тический бюллетень, 2006. – № 4. – с. 333 – 340.

4. *Саканцев Г.Г.* Основы применения внутреннего отвалообразования при разработке глубокозалегающих месторождений ограниченной длины // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2004. – № 3. – с. 219 – 226.

5. *Управление* открытым способом разработки месторождений полезных ископаемых на основе энергетического подхода / М.В. Курленя, М.Л. Медведев, А.М. Авдеев, В.Г. Васильева // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2007. – № 6. – с. 182 – 193.

6. Пат. № 2167297 РФ МПК6 Е 21 С 41/26. Способ открытой разработки крутопадающих вытянутых месторождений. *Медведев М.Л.* Заявка № 99116204. Заявлено 22.07.1999. Опубликовано 20.05.2001. БИ № 14.

7. Пат. № 2171377 РФ МПК6 Е 21 С 41/26. Способ открытой разработки крутопадающих вытянутых месторождений. *Медведев М.Л.* Заявка № 99122575. Заявлено 27.10.1999. Опубликовано 27.07.2001. БИ № 21.

8. Пат. № 2224109 РФ МПК6 Е 21 С 41/26. Способ открытой разработки крутопадающих вытянутых месторождений. *Курленя М.В., Медведев М.Л.* Заявка № 2002110187. Заявлено 17.04.2002. Опубликовано 20.02.2004. БИ №5. ГИАБ

Коротко об авторах

Курленя М.В. – академик РАН, советник РАН;
Медведев М.Л. – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник ИХХТ СО РАН;
Колдырев Ю.И. – ОАО «Сибцветметниипроект», заведующий Горным отделом;
Кисляков В.Е. – доктор технических наук, профессор, СФУ, Институт цветных металлов и золота.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 14 симпозиума «Неделя горняка-2008».