

Оценка возможности выемки законтурных руд на Сибайском карьере

Зобнин В. И.

**к.т.н., ведущий научный сотрудник лаборатории «Устойчивости бортов
карьеров и сдвигения горных пород»**

Иванов Ю. С.

**ведущий научный сотрудник лаборатории «Устойчивости бортов карьеров
и сдвигения горных пород»**

ОАО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург, Россия

Горные работы на Сибайском месторождении ведутся с 1941 года. Научное сопровождение вопросов устойчивости карьерных откосов в процессе отработки месторождения начато в 50-е годы прошлого столетия лабораторией «Устойчивости бортов карьеров», входящей в состав института «Унипромедь». В 2003 году лаборатория перешла в состав ОАО «Уралмеханобр» под названием лаборатория «Устойчивости бортов карьеров и сдвигения горных пород».

В строении месторождения выделяются три основных участка: Старый Сибай, Новый Сибай и Нижняя Залежь. Первоначально были отработаны запасы участка «Старый Сибай» открытым способом, после чего в чаше карьера размещен породный отвал при вскрытии залежи «Новый Сибай».

При отработке запасов на участке «Новый Сибай» реализуется комбинированная геотехнология, последовательная открыто-подземная с обрушением массива. Участок «Нижняя Залежь» обрабатывается подземным способом.

Сибайским карьером отработана большая часть запасов участка «Новый Сибай». В настоящее время глубина карьера составляет 498 м (отметка дна карьера -129 м). Размеры карьера по поверхности – 1400 × 1300 м, по дну – 130 × 40 м.

Высота рабочих уступов – 10 м. При постановке уступов в предельное положение формировались сгруппированные уступы. На участках деформаций, где происходило локальное обрушение предохранительных берм, высота сплошного откоса достигает 70 – 80 м.

Углы откосов уступов в предельном положении по скальным породам до 50 – 70°. Ширина берм: предохранительных до 10 м, транспортного съезда на верхних горизонтах – 22 м, на нижних – от 14 до 7 м. Транспортный съезд – спирально-петлевой. Углы наклона бортов карьера 39 – 42°.

В процессе отработки карьера вскрытие новых горизонтов производилось внутренними траншеями спиральных съездов. Система разработки уступа с параллельным продвижением фронта работ от центра к периферии. Бурение технологических скважин станками СБШ-250. Погрузка горной массы экскаваторами ЭКГ-5. Транспортировка вскрыши и руды автомобильным транспортом БелАЗ-540 и БелАЗ-548. Вскрыша отсыпалась во внешние отвалы, высота которых достигает 60 м.

В процессе отработки контур карьера неоднократно пересматривался в сторону увеличения глубины и углов наклона бортов с целью вовлечения в добычу открытым способом дополнительных объемов руд. Принятие новых проектных решений выполнялось по результатам проведения научно-исследовательских работ, проводимых институтом «Унипромедь», и направленных на изучение инженерно-геологических особенностей прибортового массива и состояния устойчивости бортов карьера, и обусловлено избыточным запасом устойчивости прежних проектных контуров, а также необходимостью обеспечения сырьем обогатительной фабрики. Не смотря на то, что проектирование и строительства подземного рудника начато еще в 80-е годы, добыча руды подземным способом на участке «Новый Сибай» так и не была освоена, что и потребовало перевода части запасов в отработку карьером.

На последнем этапе эксплуатации карьера горные работы велись в соответствии с «Локальным проектом...» [1], разработанным в 1997 году институтом «Унипромедь». Проектная глубина карьера 504 м, отметка дна карьера -135 м.

Добыча руды на карьере была остановлена в 2003 году, что было вызвано проявлением ряда нарушений устойчивости откосов по западному борту карьера, повлекших деформирование транспортного съезда на нижних горизонтах борта, что в значительной степени осложнило ведение горных работ.

В дальнейшем ПКО ОАО «Башкирский Медно-Серный Комбинат» был разработан и реализован «Локальный проект...» [2], предусматривающий выемку руды на участке южного борта, с ее доставкой на поверхность через выработки подземного рудника. Количество товарной руды по проекту составляет 260 тыс. тонн.

В настоящее время выемка руды открытым способом по участку «Новый Сибай» прекращена. При этом за контуром карьера в его фактическом положении остается 19 314 тыс. тонн руды, из которых 39 % залегают в бортах карьера выше гор. 469 м (отм. -100 м) [3]. Доработка оставшихся за контуром карьера запасов руд планируется подземным способом.

Отработка Сибайского месторождения открытым способом производилась в сложных геомеханических условиях и сопровождалась развитием деформационных процессов на различных участках бортов карьера. Наиболее сложными участками на Сибайском карьере по условиям устойчивости являются перечисленные ниже.

Участок Юго-Западного борта карьера, где сдвиг пород происходило по «желобу», образованному кососекущими борт крупными тектоническими трещинами. По вертикали деформация охватывает массив в отметках +225 ÷ +70 м, достигая по горизонтали 30 м. Деформации участка локализованы путем оставления рудного целика в нижней части борта с отм. +20 м и ниже.

В верхней части Восточного борта деформации проявлялись в виде открытых трещин и значительных просадок. На прилегающей к карьере территории трещины и просадки охватывают по простиранию борта 200 м, вкрест простирания до 60 м. Трещины прослеживаются на транспортных и предохранительных бермах до отм. +340 м. Деформации обусловлены Восточно-Сибайским нарушением, расположенным субпараллельно восточному борту, имеющему западное падение под 80 – 85°. Нарушение (разлом) имеет ряд

оперяющих тектонических трещин, по которым проходят просадки. Оперяющие трещины имеют восточное падение под углом 55 – 65°. Первые проявления деформаций зафиксированы в 1969 году с активизацией на различных этапах ведения горных работ. Активные деформации локализовывались путем внедрения ряда мер (осушение борта, разнос, оставление целика), однако плавные смещения отмечались в течение всего периода отработки карьера.

Участок северо-западного борта, устойчивость которого осложнена значительной трещиноватостью и измененностью слагающих его метасоматических пород. Активизация подвижек прослеживалась в весенне-летний период при значительном увлажнении тела оползня. Деформации распространялись с отм. +340 до транспортного съезда в отм. +50 ÷ +60 м. Был частично осуществлен разнос верхних горизонтов с отм. +165 м.

Нижние горизонты западного борта в отм. +80 ÷ -111 м, по которому произошел целый ряд деформаций, обусловленных, в основном, наличием неблагоприятно ориентированных тектонических нарушений и контактов пород, так как борт приурочен к лежащему боку месторождения.

Анализ произошедших на карьере деформаций показывает, что основными причинами их возникновения является:

- наличие неблагоприятно ориентированных тектонических нарушений;
- наличие контактов пород и руд согласного с бортом залегания;
- переувлажнение паводковыми и ливневыми водами участков бортов, сложенных ослабленными породами, и зон интенсивной трещиноватости;
- сейсмическое воздействие взрывных работ при отработке технологических блоков;
- интенсивная углубка карьера при отставании разноса верхних горизонтов, что приводит к увеличению углов наклона откосов участков борта;
- релаксация напряжений при понижении горных работ;
- наличие в бортах подземных горных выработок.



Рисунок 1. Юго-западный (а) и северный (б) борт карьера по состоянию на 2009 год.

Наименее устойчивым участком при углубке карьера является лежащий бок месторождения, где механизм деформирования бортов и уступов обусловлен крупными тектоническими трещинами, по которым происходит отрыв участка массива борта и трещинами отдельности (структурными), падение которых субпараллельно контакту рудного тела, по этим трещинам происходит скольжение оторванного массива.

Сложность геомеханических условий на современном этапе отработки месторождения обуславливает необходимость реализации нестандартных схем выемки законтурных запасов руд.

Обеспечение устойчивого состояния подрабатываемого массива, а в условиях открыто-подземной отработки происходит подработка бортов карьера – требует при ведении подземных горных работ реализации следующих принципов: отработка запасов системами с закладкой выработанного пространства; формирование в выработанном пространстве карьера внутренних отвалов; оставление разделительных (барьерных) целиков.

Проектом института «Унипромедь», составленным в 1985 году [4], рекомендована система разработки с закладкой выработанного пространства и применением самоходного оборудования. Высота этажа – 80 м. Проектная производительность рудника – 1500 тыс. тонн руды в год. Вскрытие месторождения осуществляется тремя вертикальными стволами шахт Клетевая, Скиповая и Вентиляционная, а также штольнями из карьера. В дальнейшем при вовлечении в отработку подземным способом запасов участка «Нижняя залежь» осуществляется строительство шахты Северная-Вентиляционная.

Однако запасы законтурных медно-колчеданных руд месторождения характеризуются низким содержанием меди – менее 2 %, что в настоящее время не позволяет обеспечить рентабельность добычи при условии применения закладки выработанного пространства. Это потребовало изыскания более эффективной с экономической точки зрения схемы выемки запасов руд, находящихся за контуром карьера.

Было предложено решение, предусматривающее выемку части запасов руды из южной выклинки открытым способом [5]. Отработка прибортовых запасов ведется двумя участками со вскрытием с отметок +220 и +46 м соответственно. Углы наклона уступов в проектном положении – 75°, высота уступов – 30 м, до 45

м на отдельных участках, ширина предохранительных берм – 8-10 м, ширина транспортных берм – 14 м. Угол наклона борта карьера на участке разноса увеличивается до 58° при общем – 48°. Объем вскрыши составляет около 4,2 млн.м³, количество руды – 3,8 млн.тонн, коэффициент вскрыши – 1,10 м³/т. Коэффициент запаса устойчивости южного борта с учетом отработки в зажиме составит 1,76 на полную высоту борта, и 1,33 на участке разноса. Отвалообразование как внешнее, так и внутреннее с пригрузкой бортов карьера.

На основе указанной работы предложена общая схема отработки законтурных запасов, включающая выемку указанных объемов руды на южном фланге открытым способом, отсыпку вскрышных пород во внутренний отвал в карьере на северный фланг, и доработку оставшихся запасов в бортах и ниже дна карьера подземным способом системами с обрушением под защитой сформированного отвала с его частичной перевалкой в отработанное пространство южной выклинки [6]. Основными преимуществами такого решения является сохранение устойчивости откосов, подрабатываемых подземными горными работами, за счет их пригрузки отвалом, а также снижение расходов в сравнении с транспортированием вскрыши во внешние отвалы. Однако, от данной схемы отказались ввиду сложности ее реализации.

Оставление барьерных целиков, отделяющих подземные горные работы от выработанного пространства карьера, мощность которых должна составлять порядка 15 – 20 м, потребовало бы перевода во временно неактивные запасы значительной части прибортовых и придонных запасов руд.

Сложившаяся ситуация потребовала перейти к выемке законтурных запасов подземным способом системами разработки с обрушением, при условии сохранности транспортного карьерного съезда на начальном этапе отработки. Данная концепция реализована в, выполненной ООО «Уралмеханобр-УГМК», работе [3].

Доработка основных запасов участка предусматривается системой разработки подэтажного обрушения с торцовым выпуском с высотой подэтажа 20 м. Выемка законтурных запасов ведется последовательно участками, выделенными по геомеханическим и горнотехническим условиям отработки.

В начальный период подземной отработки осуществляется выемка части прибортовых запасов на южном и севером флангах месторождения открытыми камерами (прирезками) из подземных выработок без обрушения бортов с целью обеспечения сохранности транспортного съезда для доступа с поверхности к штольням гор. 309 м и гор. 389 м, для чего формируемый в процессе выемки запасов откос отстраивается под углом 58° , определенным соответствующим расчетом.

По участку южной выclinки, где транспортный съезд располагается на высоте 107 м от выемочного горизонта (469 м), реализуемый под указанным углом сплошной откос будет иметь запас устойчивости 1,31, в то время как борт в целом при высоте 486 м будет иметь запас устойчивости несколько ниже 1,3 (без учета зажима).

При выемке законтурных запасов в северной выclinке реализация откоса под углом 58° приводит к образованию выемки высотой до 60 м, что вызывает значительные сложности в отработке данного участка. Поэтому, принимая во внимание горнотехнические условия отработки прибортовых запасов, угол формируемого откоса был скорректирован, и принят по разрезу 12– 58° и по разрезам 13 и 14 – 70° соответственно [7]. Высота сплошного откоса, образующегося после отработки камеры, колеблется в пределах от 38 до 70 м к востоку при результирующем угле $60 - 64^\circ$ соответственно. В то же время коэффициент запаса устойчивости изменяется от 1,66 до 1,06, что не исключает развития локальных деформаций откоса в его восточной части после выемки запасов. Транспортный съезд располагается на высоте 163 – 177 м от выемочного горизонта. Угол наклона участка борта в проектном положении составляет $49-52^\circ$ при коэффициенте запаса от 1,24 до 1,44. Снижение на данном участке коэффициента запаса откоса ниже нормативного 1,3 [8] может привести к незначительным подвижкам трассы съезда в западной его части.

Далее поэтапно производится доработка запасов на выclinках, как открытыми камерами (прирезками), так и системами подэтажного обрушения с торцовым выпуском руды. При выемке запасов также формируется откос под углом 58° . С изменением схемы вскрытия месторождения обеспечение сохранности карьерного транспортного съезда более не потребуется, поэтому деформации подрабатываемых откосов допускаются.

Перед началом выемки руды, образующиеся козырьки пустых пород на вышележащих горизонтах разбуриваются и взрываются с целью исключения их произвольного самообрушения, а также для образования внутреннего отвала на дне карьера. Объем отбиваемой породы составляет 1465 тыс.м³ (в целике), в том числе по южному борту – 520 тыс.м³, по северному – 785 тыс. м³, по западному – 160 тыс.м³. Формирование внутреннего отвала позволяет путем пригрузки бортов карьера частично сохранить их устойчивость в процессе выемки прибортовых запасов.

Кроме того одним из основных факторов, положительно влияющих на устойчивость формируемых откосов при выемке запасов на южном и северном флангах, является отработка в зажатой среде, характеризующейся небольшим радиусом закругления борта в плане.

На рисунке 2 показана отработка прибортовых запасов руды из южной и северной выклинок.

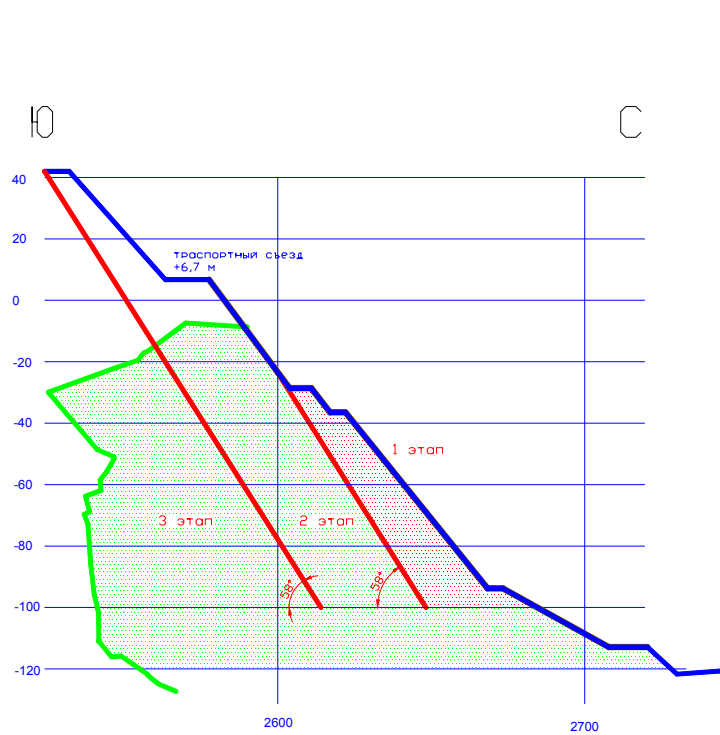
Отработка запасов руд в западном и восточном бортах осложняется рядом факторов, в частности:

- наличием деформаций, обусловленных неблагоприятными структурными особенностями строения прибортового массива;

- увеличением пролета бортов и соответственно уменьшением их радиуса закругления в результате выемки запасов в южной и северной выклинках.

Поэтому при отработке законтруных руд на западном и восточном бортах карьера должно производиться геомеханическое обоснование условий выемки запасов с определением мероприятий, обеспечивающих устойчивое состояние прибортового массива в зоне ведения подземных горных работ, а соответственно безопасность отработки и снижение (исключение) потерь руды, связанных с деформациями рудных откосов.

Разрез по 6450 м (юг)



Разрез 12 (север)

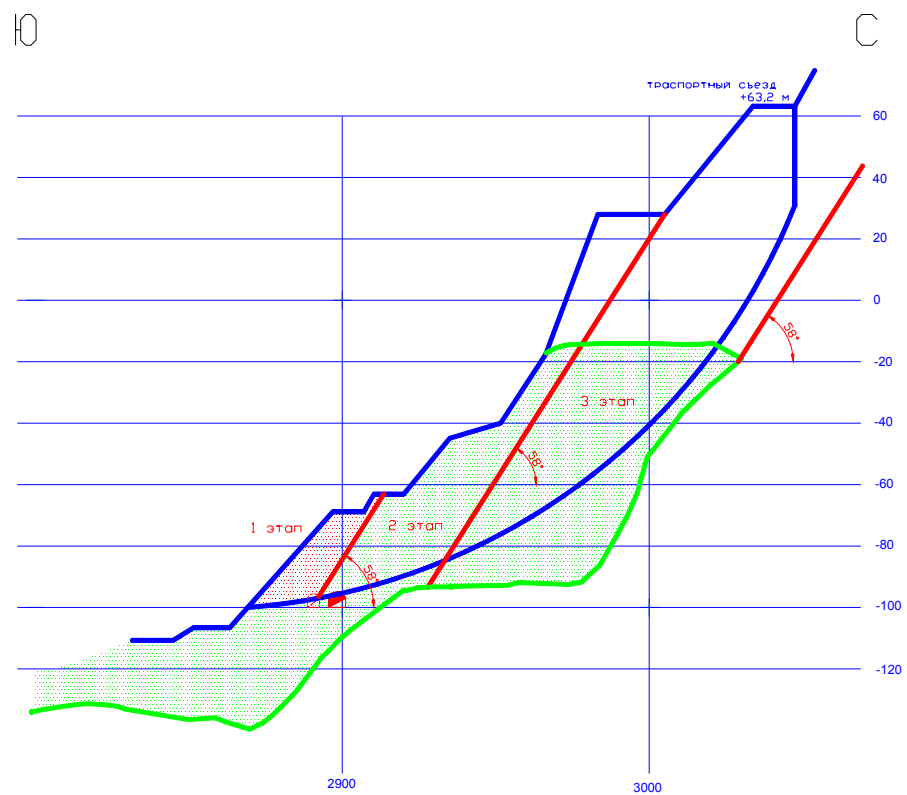


Рисунок 2. Отработка прибортовых запасов в южном и северном бортах карьера

Фактическое состояние устойчивости наиболее ослабленного участка западного борта указывает на то, что величина коэффициента запаса устойчивости составляет порядка 1,25 [8]. Полученное на основе этого обратным расчетом сцепление пород в массиве 22 т/м^2 , позволило оценить устойчивость откоса после выемки руды – коэффициент запаса составил 1,11. Поэтому для сохранения устойчивости откоса отработку рудных примазок по западному борту рекомендуется вести под защитой внутреннего отвала пустых пород (рис. 3).

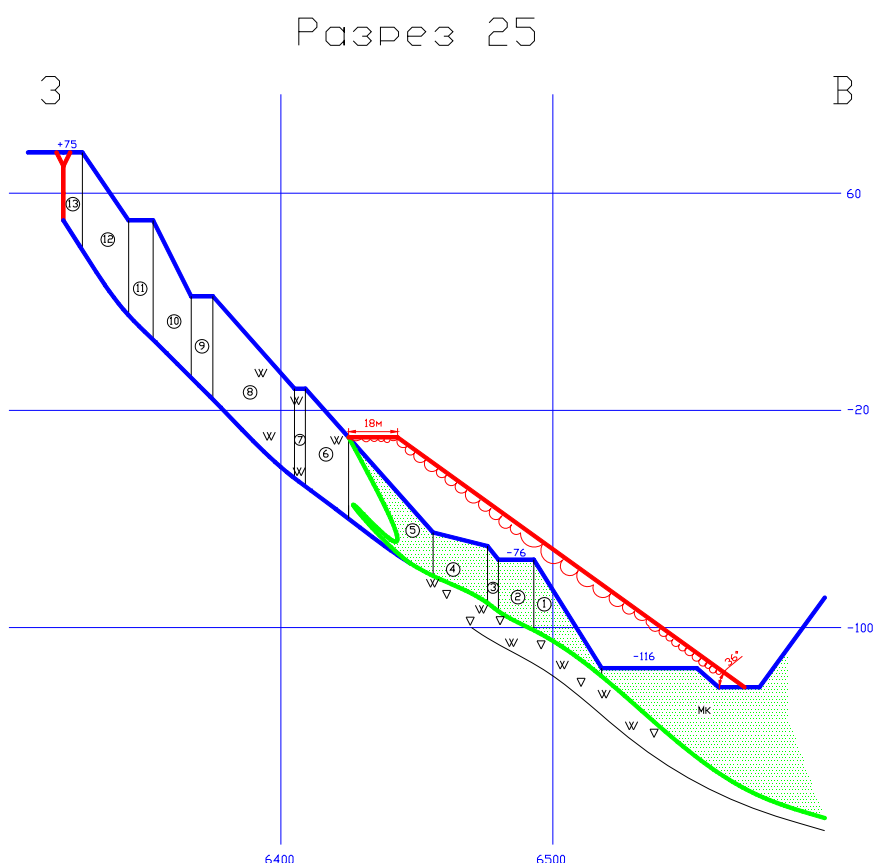


Рисунок 3. Отработка законтурных запасов в западном борту

На юго-западном борту карьера осуществляется отработка локального опытно-промышленного участка открытыми камерами. По возможности отработки данного участка было проведено соответствующее обоснование [9]. Определен вариант выемки позволяющий сохранить устойчивость подрабатываемых откосов: между ослабленными метасоматическими породами и камерами оставляется рудный целик шириной 7 – 10 м, угол откоса, формируемый по руде, принимается

равным 50 – 55°. Оценка устойчивости откоса высотой 191 м от верхней границы деформаций в отм. +75 м до отм. -116 м показывает, что в фактическом состоянии коэффициент запаса устойчивости составлял 1,71, а после отработки камеры – 1,32. По простиранию участка отработки в северном направлении введено ограничение – дальше определенной линии отработка запасов по западному борту должна вестись под пригрузкой отвала.

Устойчивость восточного борта в фактическом положении при угле наклона 33° и ширине по нижней бровке 175 м оценена коэффициентом запаса устойчивости 1,25. Отработка законтурных запасов руд в северной и южной выclinках тремя этапами приведет к увеличению пролета борта и вместе с тем к снижению запаса устойчивости, который поэтапно составит: 1,18, 1,12 и 1,09. Исходя из прогнозируемых «Правилами...» [8] деформаций откосов соответствующих величине запаса их устойчивости обоснована очередность отработки запасов руды в южном, северном и восточном бортах карьера. Это направлено на обеспечение отработки запасов в восточном борту до возникновения наибольших деформаций, вызванных отработкой смежных бортов.

На завершающем этапе отработки производится доработка прибортовых запасов ниже гор. 469 м (отм. -100 м), и выемка запасов, расположенных ниже дна карьера.

Проведена оценка устойчивости бортов карьера в фактическом состоянии и в условиях подработки подземными горными работами на полную глубину (таблица 1).

Результаты оценки показывают, что борта карьера в фактическом состоянии в целом находятся в устойчивом состоянии, так как величина их запаса устойчивости близка или более регламентируемого «Правилами...» [8] значения 1,3. Наименьшей устойчивостью при этом обладают восточный и западный борта карьера.

При отработке законтурных запасов Сибайского месторождения подземным способом системами с обрушением северный и южный борта карьера будут испытывать значительные деформации. По восточному борту при углублении горных работ ниже дна карьера возможно обрушение. Западный борт будет

нарушен частично в пределах зоны ослабленных метаморфизованных пород лежащего бока.

Таблица 1. Запас устойчивости бортов Сибайского карьера

<u>Борт карьера</u> Разрез	Фактическое состояние бортов до подработки			После выемки запасов до гор. 629 м
	Высота борта, м	Угол наклона, градус	Коэффициент запаса	Коэффициент запаса
<u>Северный</u> Разрез по линии 6450 м	440	40	1,51	1,09
<u>Восточный</u> Геологический 24	473	38	1,32	< 1
<u>Южный</u> Разрез по линии 6450 м	478	38	1,45	1,15
<u>Западный</u> Геологический 24	485	41	1,28	1,20

Однако, не смотря на прогнозируемые значительные деформации бортов карьера, доработка законтурных запасов в соответствии с выбранной схемой возможна при постоянном ведении мониторинга устойчивости карьерных откосов, и в частности:

- систематических инструментальных наблюдений за состоянием устойчивости трассы капитального карьерного съезда на период его эксплуатации;
- организации инструментальных наблюдений за состоянием бортов карьера и прибортовой поверхности, что обусловлено значительным снижением устойчивости бортов при их подработке, и расположением вблизи карьера объектов промплощадки рудника;
- проведению расчетов устойчивости по локальным участкам выемки прибортовых запасов с учетом конфигурации вновь формируемого откоса борта (участка борта) и местных инженерно-геологических условий;
- разработке наиболее оптимальных и безопасных схем отработки запасов по всем участкам ведения горных работ в бортах карьера.

Заключение

После завершения открытых горных работ на Сибайском карьере за его контуром остались значительные запасы руд. Однако отработка руд в бортах карьера, а в дальнейшем и ниже его дна сопряжена с необходимостью, с одной стороны – обеспечения устойчивости откосов и вместе с тем безопасности ведения горных работ, и с другой стороны – реализации экономически выгодной технологии выемки руд.

Проводимые лабораторией «Устойчивости бортов карьеров и сдвижения горных пород» ОАО «Уралмеханобр» исследования показывают, что отработка законтурных запасов Сибайского карьера возможна при реализации следующих условий:

- Отработка начинается с выемки подземным способом локальных участков по южному и северному бортам с заоткоской под углом 58° и сохранением устойчивости карьерного транспортного съезда для доступа к основным вскрывающим штольням.
- При изменении схемы вскрытия и завершении эксплуатации транспортного съезда поэтапно ведется отработка запасов южной и северной выклинок с заоткоской под углом 58° . Налегавшие породы разбуриваются и взрываются для исключения их самопроизвольного обрушения и формирования пригрузки бортов при их подработке. На данном этапе допускается деформирование вышележащих откосов.
- Отработка запасов, залегающих в восточном борту карьера, должна быть увязана с этапами отработки смежных бортов, что вызвано увеличением пролета борта, приводящим к снижению его устойчивости. По восточному борту, устойчивость которого осложнена развитием деформаций верхних горизонтов, а также происходит максимальная подработка подземными горными работами (висячий бок) должно выполняться дополнительное обоснование при составлении проекта.
- Отработка запасов в западном борту карьера, приуроченном к лежащему боку месторождения, должна производиться под защитой пригрузки внутренним отвалом. При этом по устойчивости подрабатываемых откосов обосновывается граница ведения горных

работ без пригрузки по южному и северному бортам в западном направлении.

Фактическое состояние карьерных откосов на участках выемки законтурных запасов, осуществляемой в настоящее время, позволяет судить о правильности выполненного обоснования устойчивости.

Таким образом, реализуемая схема доработки участка «Новый Сибай», с одной стороны – позволяет обеспечить рентабельность горных работ, что, с другой стороны – в свою очередь обуславливает сложность геомеханических условий отработки законтурных запасов. Поэтому выемка руды должны вестись при научном сопровождении, включая детальную оценку устойчивости каждого вовлекаемого в отработку участка борта, и оценку безопасности горных работ, а также постоянный инструментальный мониторинг охраняемых объектов и бортов карьера в целом.

Использованные источники

1. Локальный проект выемки законтурных запасов руды Сибайского карьера открытым способом. — Екатеринбург: Унипромедь, 1997.
2. Локальный проект доработки запасов руды на южном борту Сибайского карьера в интервале отметок -74 ÷ -115 м с использованием горных выработок Сибайского подземного рудника для транспортирования руды и выдачи ее на поверхность. – Сибай: ПКО БМСК, 2004.
3. Доработка залежи «Новый Сибай» Сибайского месторождения подземным способом: Технологический регламент. Том 1. Пояснительная записка. (Шифр 308/07 ПР-ТР) – Екатеринбург: Уралмеханобр-УГМК, 2008.
4. Доработка Сибайского месторождения подземным способом. Том 1. Геология. Горная и горно-механическая части технико-экономического расчета. (ПЗ-034-0-01) – Свердловск, Унипромедь, 1985.
5. Исследование вопросов устойчивости бортов Сибайского карьера в период его доработки: Отчет о научно-исследовательской работе. – Екатеринбург: Уралпромпроект, 2004.
6. Соловьев А.А., Зобнин В.И., Иванов Ю.С., Лукичев В.Г. Выбор схемы доработки Сибайского месторождения комбинированным способом // «Известия вузов. Горный журнал», № 4, 2007.

7. Научное сопровождение и надзор за состоянием устойчивости бортов Сибайского карьера. Отчет о НИР. – Екатеринбург: Уралмеханобр, 2009.

8. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. – С.-Пб.: ВНИМИ, 1998.

9. Выполнить прогноз состояния устойчивости южного борта Сибайского карьера при выемке пирротиновых руд подземным способом: Отчет о научно-исследовательской работе. – Екатеринбург: Уралмеханобр, 2008.