

ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.271

ОТРАБОТКА ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ В УДАРООПАСНЫХ УСЛОВИЯХ НА ТАШТАГОЛЬСКОМ И ШЕРЕГЕШЕВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

В. Н. Филиппов¹, А. А. Еременко^{1,2}, Е. А. Христюбов³

¹Институт горного дела СО РАН им. Н. А. Чинакала,
E-mail: filiprov144@yandex.ru, Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия

²Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева,

E-mail: eremenko@ngs.ru, ул. Весенняя, 28, 650000, г. Кемерово, Россия

³Горно-Шорский филиал АО "Евраз ЗСМК", E-mail: Evgeny.Khristolubov@evraz.com,
ул. Гагарина, 10, 652971, пос. Шерегеш, Кемеровская область, Россия

Установлено, что при отработке предохранительного целика в условиях Таштагольского месторождения с понижением очистных работ напряжения и зоны неупругих деформаций увеличиваются в 2–4 раза. В предохранительном целике Шерегешевского месторождения области растягивающих напряжений, где формируются разрушения подработанных горных пород, по мере роста размеров выработанного пространства увеличиваются. Выемка рудных запасов на участках Восточный и Северо-Западный Таштагольского месторождения показала, что при скорости отработки блоков 2.0–2.5 м/сут и более регистрируются толчки с энергетическим классом 5–6. При отработке участков Подрусловый и Новый Шерегеш снижение энергетического класса толчков достигается при скорости отработки рудных тел 0.4–0.6 м/сут. Обоснована возможность и определен порядок безопасной отработки рудных запасов, находящихся в предохранительных целиках под реками Кондома и Большая речка. Рассмотрены варианты формирования закладочного массива при отработке предохранительных целиков Таштагольского и Шерегешевского месторождений.

Горный удар, концентрация напряжений, очистной блок, компенсационная камера, кровля, предохранительный целик, закладочный массив, горные породы, этаж, система разработки

DOI: 10.15372/FTPRPI20210107

Сокращение запасов руды большинства разрабатываемых месторождений, ухудшение геомеханических условий, а также увеличение доли добычи богатых руд в предохранительных целиках существенно повышает издержки производства горнодобывающих предприятий. Значительного улучшения сырьевой базы можно достигнуть за счет освоения богатых руд на ряде месторождений, склонных и опасных по горным ударам, законсервированных в целиках под промышленными и водными объектами, ранее не обрабатываемых по факторам технологической безопасности или экономической целесообразности [1].

Значительная часть запасов Таштагольского месторождения находится в предохранительных целиках под р. Кондома, железнодорожными путями и жилым поселком, которые расположены в границах участков Восточный и Северо-Западный (рис. 1). На действующих горизонтах производство горных работ осложняется проявлениями горного давления в динамической форме. Нахождение месторождения в сейсмически активном районе Алтае-Саянской складчатой области и глубина ведения горных работ усложняют отработку рудных тел [2].

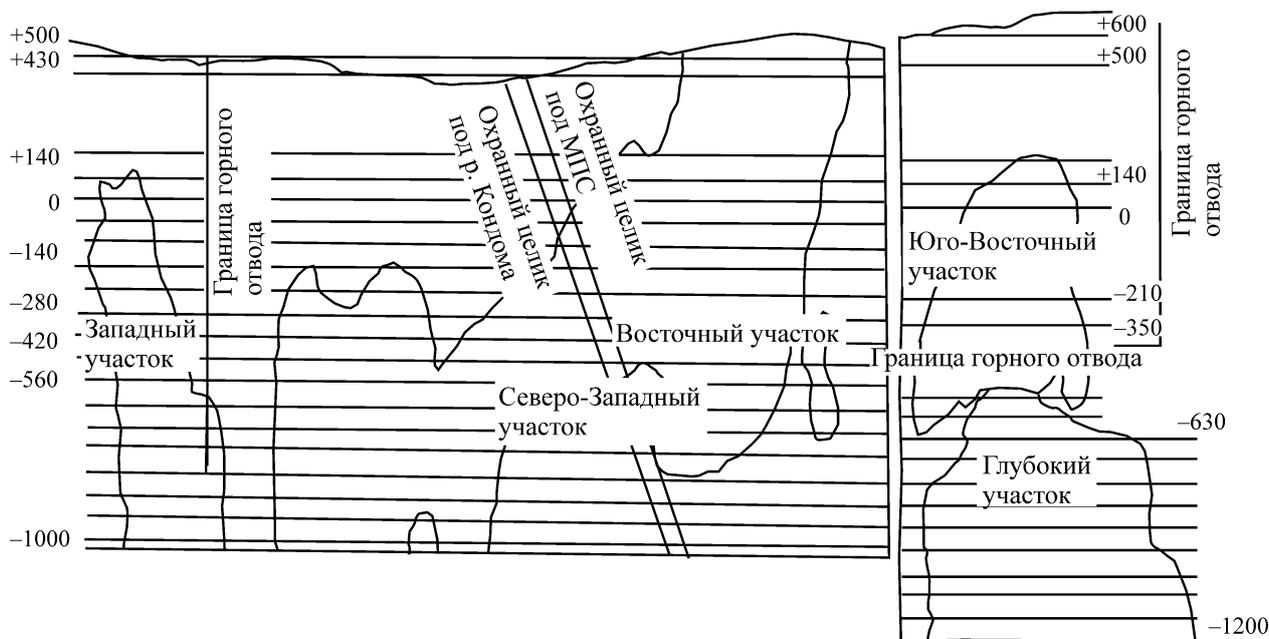


Рис. 1. Вертикальная проекция Таштагольского месторождения (+ 210 / - 1200 м горизонты)

Шерегешевское месторождение расположено в зоне влияния Мартайгино-Шорского разлома, который является одним из наиболее опасных в геодинамическом и сейсмическом отношении, где существуют повышенные риски проявления горных ударов, сопряженные с отработкой рудных залежей вблизи геодинамически активных разломов. В границах предохранительного целика находится основная доля запасов участков Подрусловый и Новая Промплощадка (рис. 2). Рудные тела участка являются слепыми. Верхняя кромка рудных тел расположена на глубине более 300 м от поверхности.

Участки Восточный и Северо-Западный Таштагольского месторождения с глубины 600 м (горизонт -70 м и ниже) относятся к опасным по горным ударам. За период их эксплуатации зарегистрировано большое количество проявлений горного давления в динамической форме, микроударов, толчков и др. Рост геодинамической активности в предохранительном целике связан с увеличением количества одновременно проводимых по времени взрывов на расстоянии 50–100 м друг от друга, а также влиянием обнажения в очистном пространстве камер (объемом 10 тыс. м³ и более), обрабатываемых на северном фланге месторождения. Накопление горизонтальных напряжений вокруг очистных камер приводит к мощным толчкам, обрушению бортов камер и другим негативным проявлениям горного давления. В результате проведения исследований в районе предохранительного целика установлены сформировавшиеся сейсмически активные зоны, которые располагаются на Северо-Западном участке и на северном фланге Восточного участка.

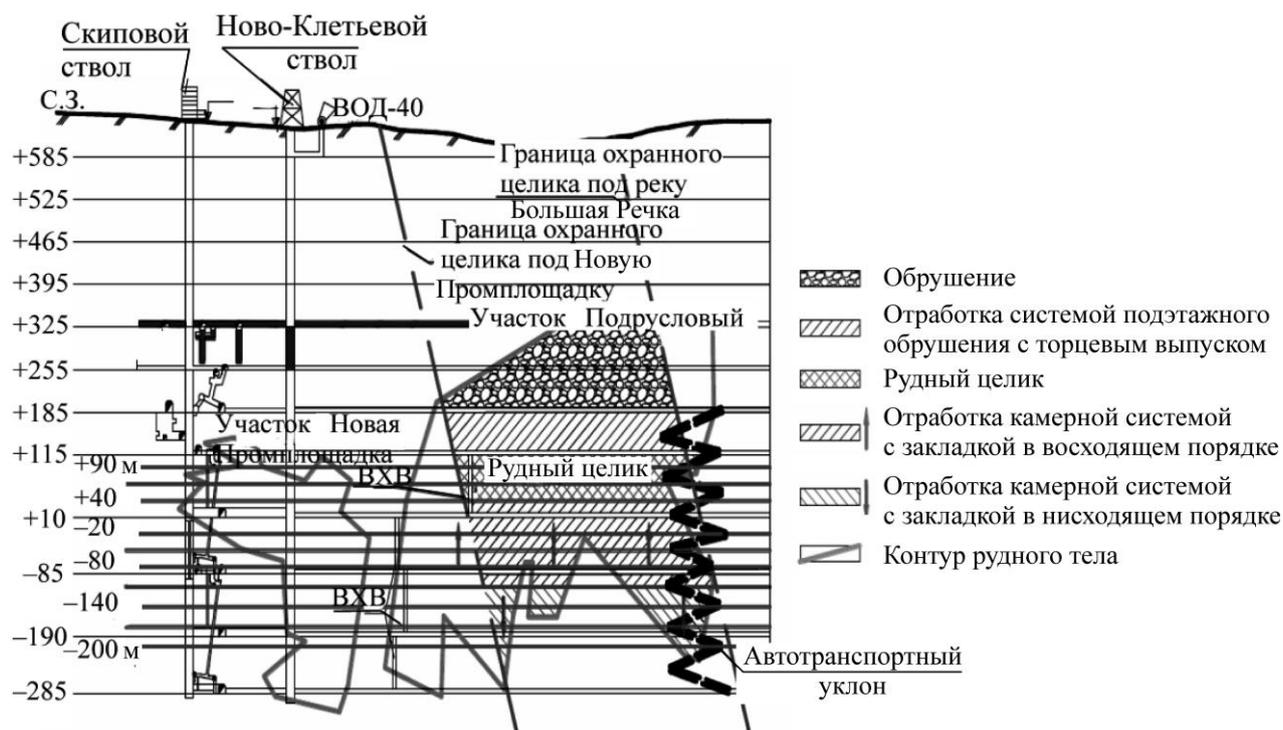


Рис. 2. Расположение предохранительных целиков на Шерегешевском месторождении

Дана оценка напряженно-деформированного состояния (НДС) массива при отработке предохранительного целика методом математического моделирования с использованием граничных сингулярных интегральных уравнений (рис. 3, 4) [3, 4]. Зоны неупругого деформирования представлены для возможных максимальных и минимальных значений сцепления массива σ_s [5]. На рис. 4 зоны неупругого деформирования приведены для $\sigma_s = 0.5$ МПа — зоны III (неупругие деформации слабых пород) и для $\sigma_s = 10$ МПа — зоны IV (неупругие деформации крепких пород).

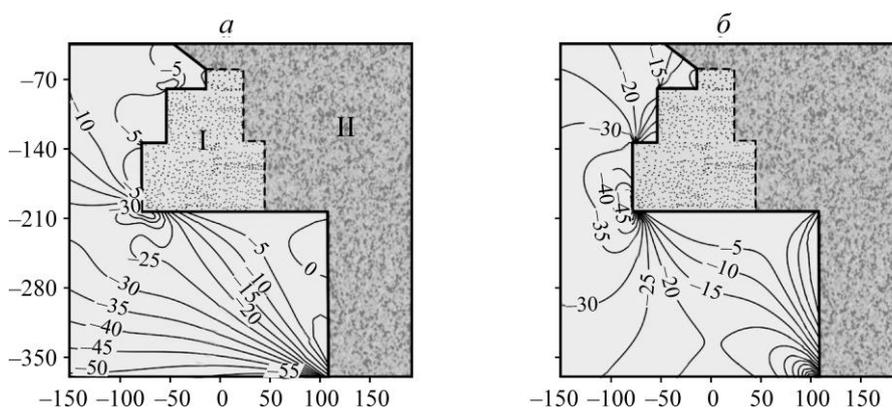


Рис. 3. Горизонтальные (а) и вертикальные (б) напряжения (МПа) массива на отм. -50/-370 м: I — закладка; II — обрушенные породы

Напряженное состояние массива на отм. -200/-280 м под отработанными и заложеными блоками (отм. -60/-200 м) характеризуется разгрузкой от действия горизонтальных и вертикальных напряжений (рис. 4), исключение — зоны концентрации напряжений в окрестности угловой нижней части отработанного массива, где σ_x достигает -40 МПа, σ_y — -60 МПа. Та-

кое перераспределение напряжений способствует формированию неупругих деформаций в массиве под отработанным пространством в слабых породах, занимая значительную его часть; в крепких породах зоны неупругих деформаций формируются в днище отработанной части массива.

С понижением очистных работ от гор. –70 до гор. –350 м напряжения и зоны неупругих деформаций увеличиваются в 2–4 раза, особенно в крепких породах, и располагаются в основном в рудном целике и в кровле, а также частично в днище выработанного пространства.

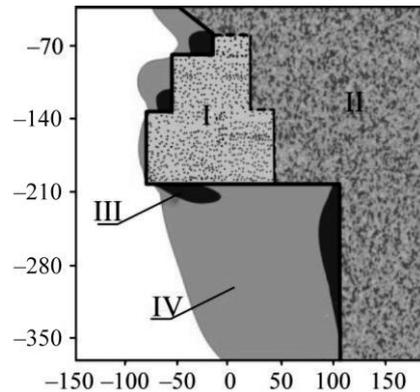


Рис. 4. Распределение зон неупругих деформаций массива на отм. –50/–370 м для прочных (III) и малопрочных (IV) пород: I — закладка; II — обрушенные породы

Для разработки схем ведения горных работ Шерегешевского месторождения в этажах (+185/+255) и (+115/+185) м, которые обеспечивают планируемый объем добычи руды на участке Подруслый, проведены исследования геомеханического состояния массива горных пород при отработке рудных запасов в предохранительном целике под Большую Речку, с помощью математического моделирования — методом конечных элементов [6]. В связи с особенностями геомеханического состояния породного массива в районе ведения очистных работ на каждом анализируемом этапе отработки рудного тела рассмотрены распределения первого, второго главных σ_1 и σ_2 и максимальных τ_{\max} касательных напряжений. До момента начала отработки рудных блоков в предохранительном целике было выявлено образование обширных зон действия растягивающих напряжений вблизи вертикальных границ отработанного пространства и формирование областей концентрации сжимающих и максимальных касательных напряжений в днище отработанного пространства в районе последующей выемки руды этажа +115/+185 м. При развитии очистных работ области сжимающих напряжений располагались в кровле и почве отрабатываемых этажей. Существенного роста их уровня не наблюдается, по мере отработки происходит лишь рост объемов областей сжатия. Анализируя состояние подрабатываемого массива, следует отметить формирование в кровле верхнего отрабатываемого этажа областей растягивающих напряжений, которые по мере роста размеров выработанного пространства увеличиваются и являются зонами возможного разрушения подработанных горных пород.

Наиболее масштабное проявление горного давления в динамической форме происходит в зоне влияния очистных работ, приурочено к крупным тектоническим нарушениям и массовым взрывам по обрушению блоков [7–11]. Переход на систему разработки подэтажного обрушения позволил снизить энергетический класс толчков до 1–2 (98,48 %) от их общего количества. События с высоким энергетическим классом (свыше 3) составляют около 0,19 %. Зоны концентрации толчков располагаются в основном в районе ведения горных работ.

ВЛИЯНИЕ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА НА РУДНЫХ УЧАСТКАХ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

При отработке рудных участков увеличение выработанного пространства от 1.5 тыс. м³ до 1.68 млн м³ и более приводит к росту сейсмической энергии толчков во вмещающем массиве Восточного и Северо-Западного участков. Выемка рудных запасов с этих участков показала, что при скорости отработки от 2 до 2.5 м/сут и более регистрируются в основном толчки с энергетическим классом 5.5–6.5 (рис. 5а).

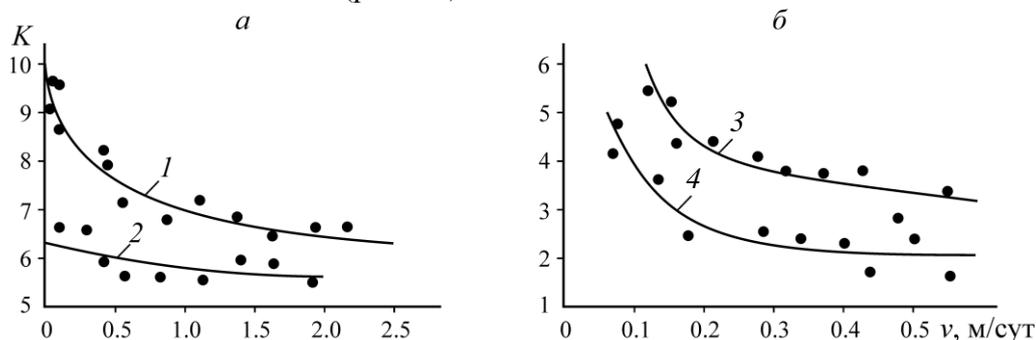


Рис. 5. Зависимости энергетического класса толчков (K) от интенсивности ввода в эксплуатацию технологических блоков (v) на Восточном (1) и Северо-Западном (2) участках (а); то же на участках Новый Шерегеш (3) и Подрусловый (4) (б)

На начало отработки Подруслового участка системой поэтажного обрушения приведенный радиус выработанного пространства $R_{пр} = \sqrt[3]{3V_B / 4\pi}$, где V_B — объем выработанного пространства (130 тыс. м³), составил 15 м, суммарный энергетический класс толчков равен 2. За период отработки рудного тела радиус увеличился до 100 м, при этом класс толчков составил 4. Взрывная отбойка веерных скважин проводится через 1 сут.

При скорости отработки уступов ($v = \sum R_{пр} / \sum \Delta t$, где $\sum R_{пр}$ — суммарный приведенный радиус выработанного пространства, м; $\sum \Delta t$ — суммарное время между очередными массовыми взрывами, сут) и ввода к отработке блоков, равной 0.4 м/сут, суммарный энергетический класс колебался от 1 до 6 (рис. 5б). При скорости отработки 0.2 м/сут энергетический класс толчков изменялся от 2.5 до 4.2 на участках Подрусловый и Новый Шерегеш. Снижение энергетического класса толчков с 3.5 до 3.1 достигается при скорости отработки рудных тел 0.4–0.6 м/сут. Таким образом, при отработке участка Подрусловый системой поэтажного обрушения при скорости выемки руды 0.4–0.6 м/сут достигается низкий уровень удароопасности (энергетический класс равен 2 в сравнении с этажным обрушением).

При расстоянии от очагов взрывов с массой ВВ от 1 до 10 т, которое колеблется от 96 до 200 м и более, до нарушений в горных выработках на участках Новый Шерегеш и Подрусловый происходило обрушение горных пород, заколообразование, нарушения крепи и т. п. Обеспечение безопасности горных работ со снижением энергии толчков достигается проведением взрывов с массой ВВ не более 10 т.

ОСОБЕННОСТИ ОТРАБОТКИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ

Запасы в предохранительных целиках Таштагольского месторождения, включающие в себя северный фланг участка Восточный и Северо-Западный участок, обрабатываются технологией с твердеющей закладкой. Для выемки запасов в предохранительном целике принята этажно-камерная система разработки с твердеющей закладкой. Искусственный массив из твердеющей закладки обладает прочностными свойствами, которые позволяют ему выдерживать статические

и динамические нагрузки от горного давления и от взрывных работ по отбойке руды в камерах со снижением площадей обнажений, возникающих в результате выемки руды. Порядок отработки этажей — нисходящий последовательный, сверху вниз с отработкой камер через одну. На границе предохранительного целика под р. Кондома и железнодорожные пути станции Таштагол со стороны рудных тел, обрабатываемых с обрушением, оставляется временный разделительный целик, позволяющий сформировать в зоне предохранительного целика искусственный барьерный целик. Искусственный барьерный целик со стороны обрушения граничит с разделительным рудным целиком, мощность которого не менее 27 м по простиранию рудного тела. Целик формируется путем отработки камер с параметрами: длина по простиранию не более 27 м, ширина вкрест простирания не более 13.5 м. Торцы смежных камер смещают таким образом, чтобы плоскость закладочного массива со стороны разделительного целика имела вогнутую форму для повышения устойчивости.

Первый ряд камер барьерного целика, обрабатываемых по простиранию, формируется из закладочных смесей с увеличенным расходом портландцемента М400 до 60 вместо 40 кг/м³ смеси. После отработки первого ряда камер по целику дальнейшая отработка запасов от границ этого ряда выполняется по технологии отработки запасов камерами вкрест простирания с закладкой твердеющей смесью с расходом портландцемента 40 кг/м³ смеси. Нормативная прочность закладки не менее 4.0 МПа [12]. Отработка разделительного целика осуществляется технологией с обрушением с отставанием на один этаж не ранее, чем через 3 мес после окончания полной закладки искусственного барьерного целика на смежном нижнем этаже. К моменту начала отработки запасов разделительного целика барьерный целик на данном этаже обрабатывается и закладывается твердеющей смесью по простиранию на ширину одного технологического блока (54 м) (рис. 6).

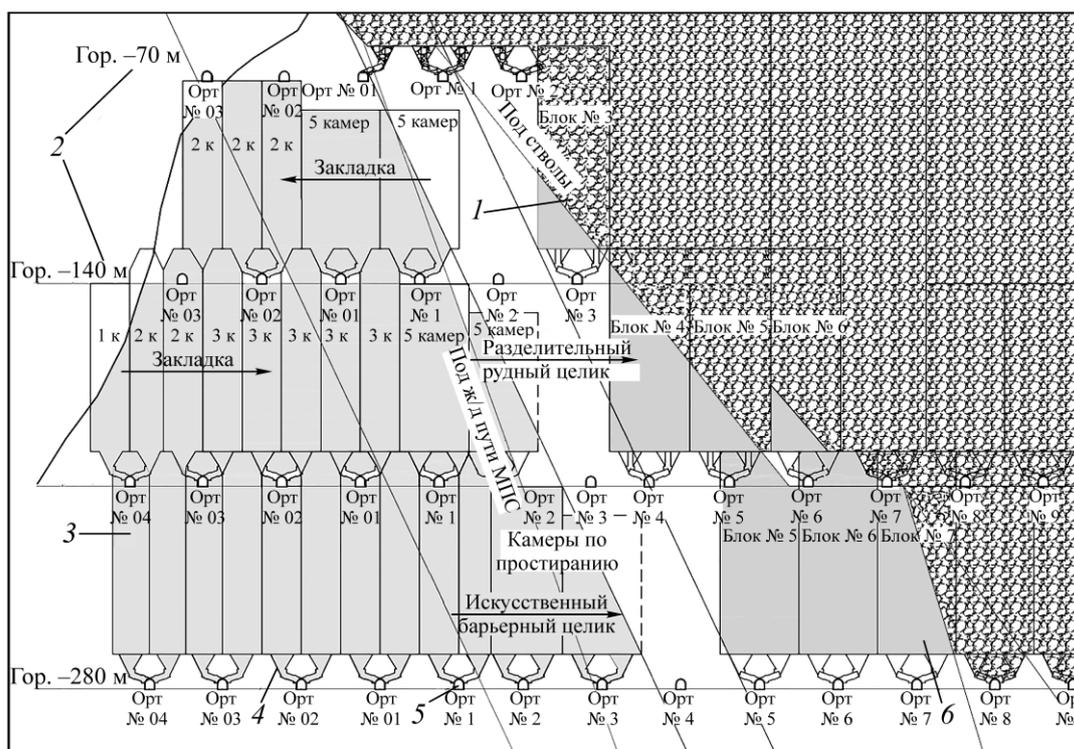


Рис. 6. Схема отработки предохранительного целика под р. Кондома на Таштагольском месторождении: 1 — отработанное пространство; 2 — горизонты шахты; 3 — блоки обрабатываемые с твердеющей закладкой; 4 — выпускные воронки; 5 — откаточные выработки; 6 — блоки, обрабатываемые с обрушением

В таблице представлены основные показатели и параметры по системам разработки.

Основные показатели по системам разработки

Показатель	Система разработки с обрушением	Система разработки с закладкой
Размеры технологического блока, м:		
высота блока	70	70
ширина блока	27	54
длина блока	45	35
Балансовые запасы блока, тыс. т	330	466
Потери, %	11	8
Разубоживание, %	30	16
Запасы сырой руды, тыс. т	420	510
Объем закладки на блок, тыс. м ³	—	132.3
Удельный расход на 1000 т сырой руды:		
подготовительные и нарезные выработки, м/м ³	2.2–2.6 / 10.0–12.0	2.5–14.0 / 12.4
скважины Ø 65 мм, м	6.0	6.0
скважины Ø 105 мм, м	52.4	58.2
ВВ на отбойку, кг	500–1550	500–1550
ВВ на выпуске руды, кг	48	48
Производительность труда рабочего, т/смену по системе разработки	69.1	38.3
без закладочных работ	—	60.1

Анализ горно-геологических условий залегания участка Восточный и Северо-Западный, их расположение в пределах предохранительного целика, а также инженерно-геологическая характеристика вмещающих пород и руд показали, что для отработки основных запасов рассматриваемого участка эффективными являются два варианта системы разработки с камерной выемкой и закладкой выработанного пространства твердеющими смесями.

Камерная система разработки с закладкой с расположением камер по простиранию рудного тела при отработке запасов участка в восходящем порядке. Данным вариантом отрабатываются камеры висячего бока месторождения на участке в этаже –280/–210 м для создания разгрузки, которая обеспечивает снятие горизонтальной составляющей горного давления, а также безопасность горных работ на участке. Выемка запасов в выемочных подэтажах осуществляется в сплошном порядке. Перед отработкой камер из нарезных выработок разбуриваются разгрузочные щели скважинами диаметром 105 мм, с расстоянием между ними 1 м, расположенные по простиранию рудного тела с некоторым отклонением в сторону висячего бока. Разбуривание и отбойка запасов камер выполняется из буровых штреков, пройденных в пределах соответствующих камер. Отгрузка отбитой руды из камер присходит через боковые погрузочные заезды, пройденные из рудного доставочного штрека, расположенного в рудном теле по простиранию руды [13].

Камерная система разработки с закладкой с расположением камер вкрест простирания рудного тела при отработке запасов участков в восходящем порядке. С ее помощью отрабатываются основные запасы участка, расположенные в пределах предохранительных целиков. Выемка камер осуществляется под защитой закладочного массива, созданного по висячему боку. Камеры, расположенные вкрест простирания рудного тела, отрабатываются в камерно-целиковом порядке. Камеры в подэтажах размещаются соосно друг над другом.

Первоначально в секциях отрабатываются камеры первой очереди шириной 15 м и высотой до 45 м (на высоту двух подэтажей). Выемка камер I очереди осуществляется через одну. При этом в секции в одновременной работе может находиться только одна камера I очереди. Отработка запасов в смежных секциях может проводиться независимо друг от друга с условием, что расстояние между одновременно отрабатываемыми камерами первой очереди должно составлять не менее 45 м (между камерами формируется рудный целик).

Сразу после закладки камеры I очереди в секции приступают к выемке запасов следующей камеры I очереди, так как дожидаться набора прочности закладкой нет необходимости. При этом в смежных секциях между одновременно отрабатываемыми камерами формируется комбинированный рудно-закладочный целик шириной не менее 45 м. После отработки и закладки камер первой очереди проводится отработка камер второй очереди шириной 15 м. Выемка камер II очереди также осуществляется через одну. В секции в одновременной работе может находиться только одна камера II очереди. Отработка запасов камер II очереди в смежных секциях может происходить независимо друг от друга с условием, что расстояние между одновременно отрабатываемыми камерами первой очереди должно составлять не менее 45 м. Между камерами формируется комбинированный целик, состоящий из закладочного массива камер I очереди и рудного массива камер II очереди или закладочного массива камер I и II очереди [13].

СИСТЕМА ПОДЭТАЖНОГО ОБРУШЕНИЯ С ТОРЦОВЫМ ВЫПУСКОМ РУДЫ

Система применяется при доработке оставшихся запасов в пределах подэтажа –295/–270 м. Каждый подэтаж разбивается на выемочные заходки, располагающиеся вкрест или по простиранию рудной залежи, в зависимости от мощности рудного тела. Количество выемочных заходок определяется в зависимости от горно-геологических условий конкретного отрабатываемого участка (мощности, угла залегания, геологических нарушений и т. п.). В каждой заходке руду отбивают в зажиме послойно вертикальными или крутопадающими веерами скважин, выпускают руду под обрушенными налегающими породами непосредственно в подэтажные буродоставочные орты (штреки) через их торцы. Днище в заходках — траншейное. Порядок отработки запасов руды в подэтажах — сплошной.

При отработке предохранительного целика системой разработки с закладкой показатели потерь и разубоживания составляют соответственно 8 и 16 %. В дальнейшем, ниже гор. –210 м, отработка Таштагольского месторождения, в том числе и предохранительных целиков участков Северо-Западный и Восточный, будет вестись подэтажной системой разработки.

В условиях отработки руд, оставленных в целиках под р. Кондома, железнодорожными объектами и другими зданиями и сооружениями, к закладочному массиву предъявляются следующие требования:

- предотвращение провалов налегающих пород с сохранением существующего рельефа местности;
- обеспечение плавности оседания рельефа без разрывов в заданных пределах при деформации налегающей толщи пород;
- сохранение устойчивости обнажений существующего массива горных пород и обнажений закладочного массива в блоках;
- выполнение рационального порядка отработки массивов руд с учетом безопасности ведения горных работ;
- обеспечение минимальных потерь и разубоживания руды.

Для условий закладки выработанного пространства используются следующие материалы: портландцемент (ПЦ) и шлакопортландцемент (ШПЦ) по ГОСТ 10178-85; молотый гранулированный доменный шлак (МДШ) Западно-Сибирского металлургического комбината; отходы Таштагольской дробильно-обогащительной фабрики (щебень крупностью 0–10 мм); техническая вода.

Приготовленная твердеющая смесь от закладочного комплекса, расположенного на поверхности к закладываемым камерам в шахте, транспортируется по трубопроводам: по горизонтальному ставу за счет статического напора столба смеси в вертикальном ставе. В случаях недостаточности статического напора применяется сжатый воздух. К закладке камер приступают после завершения установки на всех сбойках с отработанной камерой изолирующих перемычек и набора ими необходимой прочности. Перемычки в горных выработках для удержания закладки сооружаются за линией, проведенной от нижней границы камеры под углом 80° , но не ближе 3 м от границы камеры. Расчет перемычек проводится по допустимым статическим нагрузкам, предполагая, что высота слоя закладки находится в подвижном состоянии и оказывает на перемычку гидростатическое давление. Высота этого слоя принимается из расчета площади камеры и сменной производительности комплекса, но не выше 5 м от кровли выработки, где установлена закладываемая перемычка. Дозакладка камер осуществляется не ранее чем через 3 мес после окончания закладки камеры [14].

На основе анализа геомеханической ситуации на Шерегешевском месторождении и, в частности, на участке Подруслый [15] построены зоны опасных деформаций в подрабатываемом массиве и обоснована возможность безопасной подработки водного объекта (р. Большая Речка) системой разработки с обрушением вмещающих пород до отметки +185 м. Дальнейшая отработка в границах предохранительного целика реки ведется следующим образом [16]:

— от отметки гор. +185 м до отметки гор. +115 м — системой разработки с поэтажным обрушением и торцовым выпуском руды;

— от отметки гор. +40 м до нижней выклинки рудного тела — системой разработки с камерной выемкой и закладкой выработанного пространства твердеющими смесями;

— в пределах предохранительного рудного целика, расположенного в отметках +40/+115 м, — системой разработки с поэтажным обрушением и торцовым выпуском руды.

Порядок отработки запасов в отметках +40/+255 м — нисходящий, поэтажами высотой 25 м. Выемка запасов системой разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями поэтажами высотой 30 м осуществляется в отметках +40/–110 м в восходящем порядке; в отметках –110/–200 м — в нисходящем порядке.

Потери и разубоживание с учетом объемов добычи для системы с закладкой составляют соответственно 8.9 и 11.2%; для системы с обрушением — 22.7 и 28.1%. Всего в среднем потери составят 17.5%, разубоживание — 21.7%.

При отработке рудного тела Подруслый системой разработки поэтажного обрушения с торцовым выпуском руды проведен расчет производительности системы разработки в пределах одного выемочного участка. Исходными для расчета служили следующие данные: на бурении вееров взрывных скважин планируется использовать самоходные буровые установки. Оборудование на отгрузке и транспортировке отбитой горной массы из заходки до рудоспуска — ПДМ грузоподъемностью 10 т. Применение системы разработки поэтажного обрушения с торцовым выпуском создает определенную цикличность ведения очистных работ. В первую очередь осуществляется разбуривание вееров по всей длине заходки. Затем происходит чередование циклов, в каждый из которых входят процессы зарядания, взрывания и проветривания, а также последующей отгрузки и транспортировки отбитой рудной массы из забоя до рудоспуска.

Следует отметить, что при системе подэтажного обрушения с торцовым выпуском применение на очистных работах одной ПДМ грузоподъемностью 10 т со средней длиной доставки 120 м производительность участка составит порядка 30 тыс. т/мес. При системе разработки этажного обрушения производительность достигает 45–50 тыс. т/мес, а при использовании системы подэтажного обрушения снижается объем подготовительно-нарезных работ, бурения скважин, однако производительность самоходного оборудования выше, что позволяет сократить сроки ввода блоков в эксплуатацию.

Технология очистной выемки участка Подрусловый Шерегешевского месторождения ниже разделительного целика предусматривает отработку рудной залежи камерной системой разработки с закладкой [16–18]. При камерных системах разработки нормативная прочность закладочных массивов зависит от высоты вертикальных обнажений в камерах, принятой очередности отработки камер и этажей, необходимости и порядка отработки руды в днище камер. При формировании закладочного массива в условиях месторождения рассмотрены варианты, где массив состоит либо полностью из твердеющей закладки, либо бутобетонный. Бутобетонный закладочный массив формируется в выработанном пространстве посредством подачи в него твердеющей смеси и породной закладки. При приготовлении твердеющих смесей для закладки камер и создания упрочненного подкровельного слоя следует использовать те же (аналогичные) исходные материалы, что и для Таштагольского месторождения, ориентироваться на составы закладочных смесей, рекомендованные и применяемые на закладочном комплексе Таштагольского месторождения. В связи с тем что руды Шерегешевского и Таштагольского месторождений идентичны и применяется одинаковая технология обогащения, получаемые хвосты обогащения имеют схожие свойства.

ВЫВОДЫ

Установлено, что рост геодинамической активности в предохранительном целике Таштагольского месторождения связан с увеличением количества совмещенных по времени взрывов, проводимых близко друг к другу, а также влиянием обнажения в очистном пространстве камер, отрабатываемых на северном фланге месторождения. С понижением очистных работ до 800–900 м напряжения и зоны неупругих деформаций увеличиваются в 2–4 раза, особенно в крепких породах, и располагаются в основном в рудном целике и в кровле, а также в днище выработанного пространства. При отработке рудных запасов в предохранительном целике Шерегешевского месторождения отмечается формирование в кровле верхнего отрабатываемого этажа области растягивающих напряжений, которые по мере роста размеров выработанного пространства увеличиваются и являются зонами возможного разрушения подработанных горных пород.

Выемка рудных запасов с участков Восточный и Северо-Западный на Таштагольском месторождении показала, что при скорости отработки от 2 до 2.5 м/сут и более регистрируются толчки с энергетическим классом 5.5–6.5. При отработке участка Подрусловый Шерегешевского месторождения системой разработки подэтажного обрушения при скорости выемки руды 0.4–0.6 м/сут уровень энергетического класса толчков достигает 2. Потери и разубоживание при разработке системой с закладкой составляют соответственно 8.9 и 11.2 %, при системе с обрушением — 22.7 и 28.1 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еременко А. А., Ковалев В. А., Копытов А. И. Разработка инновационных технологий освоения запасов полезных ископаемых в предохранительных целиках под промышленными и водными объектами // Вестн. КузГТУ. — 2014. — № 3. — С.45–49.

2. **Еременко А. А., Филиппов В. Н., Никитенко С. М., Христолюбов Е. А.** Особенности освоения железорудных месторождений Горной Шории // ФТПРПИ. — 2017. — № 5. — С. 86–87.
3. **Wang F., Kaunda R.** Assessment of rockburst hazard by quantifying the consequence with plastic strain work and released energy in numerical models, *Int. J. of Min. Sci. and Technology*, 2019, 29(1). — P. 93–97.
4. **Khademian Z., Ugur O.** Computational framework for simulating rock burst in shear and compression, *Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci.*, 2018, 110. — P. 279–290.
5. **Yu Y., Deng K.-Z., Luo Y., Chen S.-E., Zhuang H.-F.** An improved method for long-term stability evaluation of strip mining and pillar design, *Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci.*, 2018, 107. — P. 25–30.
6. **Еременко В. А., Есина Е. Н., Семенякин Е. Н.** Технология оперативного мониторинга напряженно-деформированного состояния разрабатываемого массива горных пород // Горн. журн. — 2015. — № 8. — С. 42–47.
7. **Квочин В. А., Лобанова Т. В., Петухов М. Ф., Матвеев И. Ф., Щербаков А. И., Козин В. П., Дроздов А. П.** Сдвигание горных пород и охрана объектов от подработки на железорудных месторождениях Сибири // Основные направления совершенствования разработки месторождений полезных ископаемых: науч.-техн. сб. — Новокузнецк, 1999. — С. 101–111.
8. **Валиев Н. Г., Беркович В. Х., Пропп В. Д., Кокарев К. В.** Проблемы отработки предохранительных целиков при эксплуатации рудных месторождений // Горн. журн. УГГУ. — 2018. — № 2. — С. 4–9.
9. **Кочарян Г. Г., Золотухин С. Р., Калинин Э. В., Панасьян Л. Л., Спунгин В. Г.** Напряженно-деформированное состояние массива горных пород Коробовского железорудного месторождения на участке зоны тектонических нарушений // ФТПРПИ. — 2018. — № 1. — С. 16–24.
10. **Кропоткин П. Н.** Результаты измерений напряженного состояния горных пород в Скандинавии, в Западной Европе, в Исландии, Африке и Северной Америке. — М.: Наука, 1973. — 188 с.
11. **Борщ-Компониец В. И., Макаров А. Б.** Горное давление при отработке мощных пологих рудных залежей. — М.: Недра, 1986. — 271 с.
12. **Дополнение № 3** к проекту “Вскрытие и отработка запасов Таштагольского месторождения до горизонта минус 350 м”, технический проект 3085/311360962386 -9190.ПЗ, том 1, “Сибгипроруда”, Новокузнецк, 2016. — С. 68–75.
13. **Реконструкция** технологического комплекса Таштагольского рудника. П11181-01-ПЗ Т. 1, СПб.-Гипрошахт; СПб.: Северсталь, 2019.
14. **Закладочные работы** на Таштагольском филиале ОАО “Евразруда”, технологический регламент, ООО “ВостНИГРИ”, Новокузнецк, 2011. — С. 18–26.
15. **Еременко А. А., Шапошник Ю. Н., Филиппов В. Н., Конурин А. И.** Развитие научных основ безопасной и эффективной геотехнологии при освоении удароопасных месторождений Западной Сибири и Крайнего Севера // Горн. журн. — 2019. — № 10. — С. 33–39.
16. **Отработка** запасов железных руд Шерегешевского месторождения в границах предохранительного целика реки Большой Унзас участка Подрусловый: технологический регламент 1337/14, ОАО “Уралмеханобр”. — Екатеринбург, 2014. — С. 133–145.
17. **Именитов В. Р., Абрамов В. Ф., Попов В. В.** Локализация пустот при подземной добыче руды. — М.: Недра, 1983. — 190 с.
18. **Кравченко В. П., Куликов В. В.** Применение твердеющей закладки при разработке рудных месторождений. — М.: Недра, 1974.

Поступила в редакцию 01/X 2020

После доработки 22/XII 2020

Принята к публикации 15/I 2021