

УДК 622.271

ОСОБЕННОСТИ ОСВОЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРНОЙ ШОРИИ

А. А. Еременко^{1,2}, В. Н. Филиппов¹, С. М. Никитенко³, Е. А. Христолюбов⁴

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

²Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева,
ул. Весенняя, 28, 650000, г. Кемерово, Россия

³Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН, E-mail: nsm.nis@mail.ru,
Советский проспект, 18, 650000, г. Кемерово, Россия

⁴АО «Евразруда» Горно-Шорский филиал, E-mail: Evgeny.Khristolyubov@evraz.com,
ул. Ленина, 21, 652970, г. Таштагол, Россия

Показано, что сложные горно-геологические и геомеханические условия разработки Таштагольского, Шерегешевского и Казского месторождений при переходе горных работ на нижележащие горизонты влияют на формирование геодинамических явлений в массиве. Направление горных работ от участков с повышенной концентрацией напряжений со стороны висячего бока нарушения к участкам с пониженной концентрацией способствует снижению удароопасности. Использование на проходке комплексов самоходного оборудования приводит к увеличению удельных объемов нарезных выработок на 1000 т добываемой рудной массы в пределах 10–20% по сравнению с переносным оборудованием. Установлена закономерность процесса сдвижения горных пород при ведении очистных работ на глубоких горизонтах. Большая глубина горных работ, высокая прочность вмещающих пород являются положительными факторами при расконсервации запасов в целиках. Сочетание этих факторов, а также рациональные параметры систем разработки позволили вести отработку слепых рудных тел без закладки, а также рудных запасов в целиках под реками и под объектами промплощадок.

Руда, участок, геодинамические явления, горная порода, технология, система разработки, шахта, себестоимость, конкурентоспособность

DOI: 10.15372/FTPRPI20170510

Горная Шория расположена в Алтае-Саянской складчатой горной области, где проявляют себя горообразовательные движения и активизируется сейсмичность. В данном районе разрабатываются Казское, Таштагольское и Шерегешевское месторождения, которые находятся в сложных горно-геологических и геомеханических условиях, влияющих на выбор и параметры геотехнологии освоения рудных тел при переходе горных работ на нижележащие горизонты в шахтах в условиях напряженно-деформированного состояния горных пород [1–4].

Казское железорудное месторождение относится к Тельбесскому рудному району Горной Шории. Рудное поле представлено двумя рудно-скарновыми зонами широтного простирания. Наиболее крупный по запасам участок месторождения — Центральные Штоки охватывает се-

верную и южную рудные зоны, представленные сериями сближенных рудных тел, ориентированных в широтном направлении и залегающих на глубинах 400–700 м. Участок Леспромхозный включает в себя серию субпараллельных рудных тел северо-восточного простирания, залегающих на глубинах 350–600 м [5].

Рудная зона Таштагольского месторождения на участках Восточный, Юго-Восточный и Северо-Западный разведана на глубину более 1.5 км, а участок Глубокий — более 2 км без признаков выклинивания. Рудная зона Юго-Восточного участка выклинивается на глубине 1200 м. Рудные тела остальных участков “слепые”. Коэффициент крепости по шкале Протодьяконова для руд составляет 12–14, часто достигает 16.

Шерегешевское месторождение расположено в юго-западной части Шорского хребта (отроги Кузнецкого Алатау) и входит в Кондомскую группу железорудных месторождений. Длина рудной зоны по простиранию 3700 м, по падению — 150–900 м, при мощности от 40 до 300 м. Общая площадь, занимаемая рудно-скарновой зоной, составляет 3.5 км². На месторождении выделяются рудные участки: Главный, Болотный, Новый Шерегеш, Подрусловый и др.

ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Геодинамическое районирование Казского месторождения и распределение геодинамических явлений показывают, что они приурочены к тектоническим нарушениям, зонам их влияния и интенсивной трещиноватости, контактам разномодульных пород, зонам сжатия и растяжения. Главные нормальные напряжения в массиве находятся в соотношении $\sigma_1 : \sigma_2 : \sigma_3 = 3.7 : 2.5 : 1.0$ (соответственно напряжения, действующие по простиранию, вкрест и вертикальные). Глубина ведения горных работ на участке Центральные Штоки достигла 600 м от дневной поверхности. Казское месторождение отнесено к склонному по горным ударам.

Главные нормальные напряжения в массиве на Таштагольском месторождении имеют соотношения $\sigma_1 : \sigma_2 : \sigma_3 = 2.5 : 1.3 : 1.0$. Под действием напряжений, превышающих предел прочности горных пород, происходит их разрушение, так как породы и руды часто способны накапливать значительную упругую энергию. С глубины 600 м происходят горные удары различной интенсивности. Участки Восточный и Северо-Западный с гор. – 70 м и участок Юго-Восточный отнесены к опасным по горным ударам.

Шерегешевское месторождение расположено в зоне влияния тектонического разлома. Главные нормальные напряжения в массиве на Таштагольском месторождении находятся в соотношении $\sigma_1 : \sigma_2 : \sigma_3 = 1.8 : 0.6 : 1.0$. Основное количество геодинамических явлений зафиксировано в районе проведения взрывных работ и связано с подготовкой рудных запасов к очистной выемке по блокам [6]. Участки Болотный и Главный с высотной отметкой – 325 м, а участки Новый Шерегеш и Подрусловый с отметкой – 255 м и ниже относятся к опасным по горным ударам. Удароопасными являются магнетитовая руда, сиениты, скарны, диориты и туфосланцы.

Установлены основные закономерности пространственного, энергетического и временного распределения толчков с учетом направления горных работ на Таштагольском и Шерегешевском месторождениях. При взрывах по формированию компенсационных камер максимум сейсмической активности наблюдается во временных диапазонах 1–15, 60–72, 108–122 ч после взрыва. Зарегистрирован наивысший энергетический класс толчков 4.6 (рис. 1). При взрывах по формированию разворотов максимум сейсмической активности наблюдался во временных диапазонах 1–3, 55–77, 158–220 ч после взрыва. Высокий энергетический класс толчков составляет 6.5.

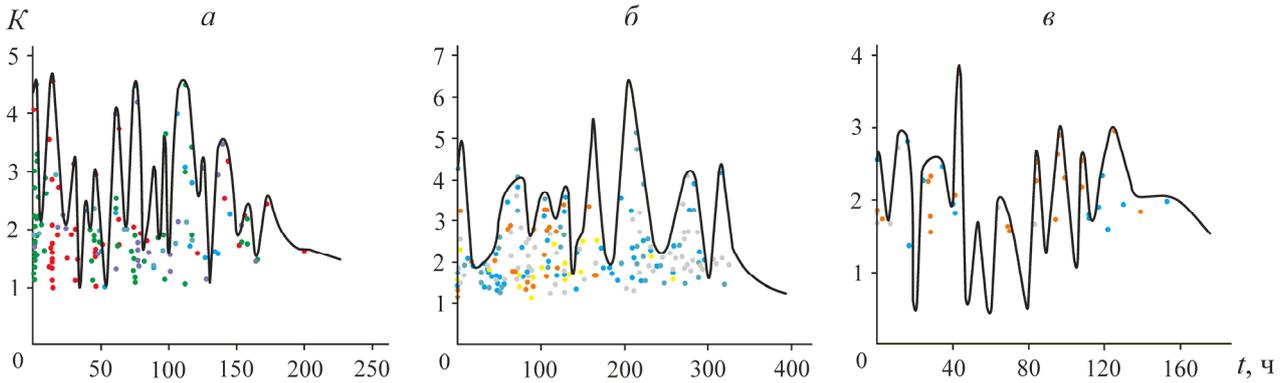


Рис. 1. Оценка распределения энергии толчков при технологических взрывах по формированию компенсационных камер (а), разворотов (б) и подсечек (в)

При взрывах по формированию подсечек максимум сейсмической активности ожидается во временных диапазонах 1–15, 40–50, 80–110 ч после взрыва. Максимальный энергетический класс толчков равен 3.5. Основными технологическими операциями, вызывающими большое количество толчков и их максимальную энергию, являются взрывы по образованию компенсационных камер и разворотов, особенно в период подготовки блоков 4, 6 и 13 в этаже –280 ÷ –210 м Северо-Западного участка (СЗУ), а также в районе блока 10, связанного с расположением Диагонального разлома (ДР) (рис. 2). При направлении горных работ со стороны висячего бока нарушения к участкам с пониженной концентрацией толчков снижается удароопасность. Наивысший энергетический класс толчков достигается при формировании камер и подсечек. Значение временного диапазона максимальной сейсмической активности зависит от местоположения даек и тектонических нарушений.

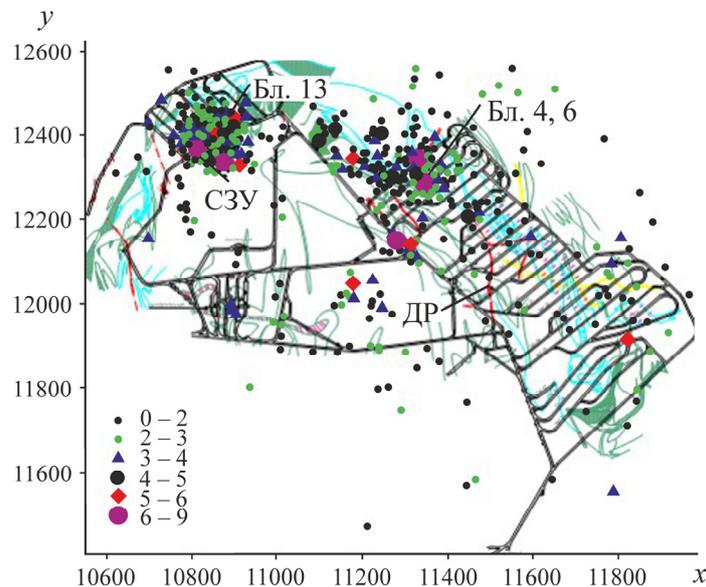


Рис. 2. Распределение толчков в шахтном поле и за его пределами на гор. –280 м: 0–9 — энергетический класс толчков

Установлена зависимость между распределением энергетического класса толчков во времени при проведении взрывов и изменением эквивалента по ВВ и сейсмической энергии взрывов при различной суммарной массе ВВ (рис. 3, 4).

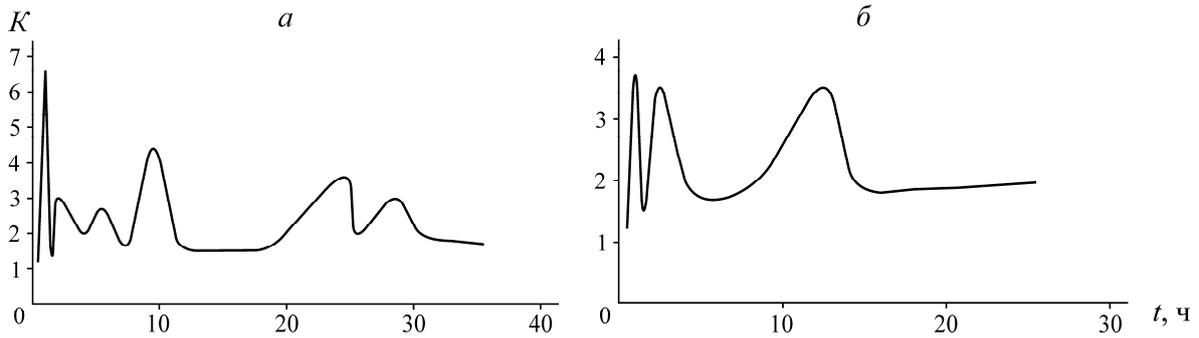


Рис. 3. Распределение энергетического класса толчков K во времени t при проведении взрыва по блоку 1 в этаже $-140 \div -70$ Восточного участка (а) и по блоку 14 в этаже $-210 \div -140$ Северо-Западного участка (б) Таштагольского месторождения

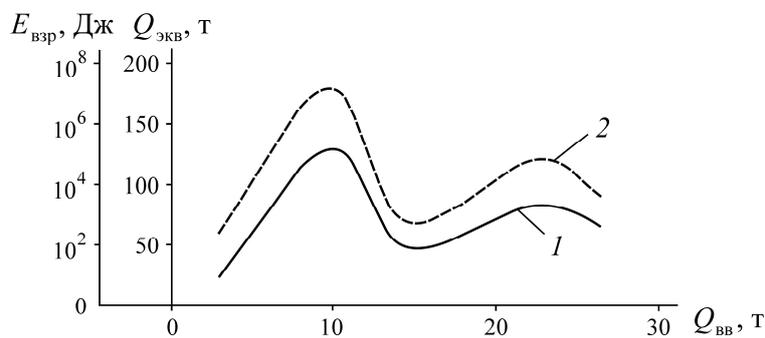


Рис. 4. Изменение эквивалента по ВВ (1) и сейсмической энергии взрывов (2) при проведении совмещенных технологических взрывов с различной суммарной массой ВВ на разных горизонтах в шахте

Исследования показали, что параметры геотехнологии должны учитывать горно-геологические, горнотехнические и геомеханические условия отработки месторождений.

Для обеспечения работ по принятым геотехнологиям отработки запасов руд на месторождениях Горной Шории применяются рациональные схемы и порядок проведения подготовительно-нарезных работ (ПНР).

СХЕМЫ И ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНО-НАРЕЗНЫХ РАБОТ

Подготовительными выработками на Казском месторождении являются откаточные и обгонные штреки и орты, проходимые после окончания горно-капитальных работ из вскрывающих выработок, а также сборные вентиляционные штреки, служащие для сброса исходящей струи и вентиляционные восстающие.

Нарезные работы выполняются непосредственно в пределах очистного блока и заключаются в проведении из выработок откаточного горизонта скреперных ортов или штреков, камер под виброставочные установки ВДПУ-4ТМ, смотровых ниш, вентиляционно-ходовых сбоек со сборным вентиляционным штреком. На подсечном подэтаже проходятся буровые орты, разрезные штреки, отрезные восстающие. На уровне вышележащего откаточного горизонта или на 10–15 м ниже находится буровой подэтаж. По нему проходятся буровые орты или штреки, а из них — буровые заходки. С данного подэтажа осуществляется разбуривание основных запасов блока. На подэтажах проходятся разрезные штреки (орты), а между ними — отрезные восстающие, предназначенные для образования отрезной щели. Удельный расход ПНР составляет $14.5 \text{ м}^3/1000 \text{ т}$ добычи сырой руды.

Схема подготовки горизонтов Таштагольского месторождения — ортовая, на участке Юго-Восточный — штрековая. К горно-подготовительным работам относится проходка полевых штреков, камерных выработок на горизонтах в их породней части, вентиляционных участковых восстающих, ортов. Выработки проходятся буровзрывным способом.

Нарезные выработки проходятся в днище блока (заходки под установки ВДПУ-4ТМ, дучки, смотровые и вентиляционные выработки), на уровне горизонта подсечки (буровые штреки и орты), на буровых горизонтах (буровые штреки и орты, минные выработки, вентиляционно-ходовые восстающие), в потолочине блока (буровые камеры, минные выработки). Нарезные выработки проходятся буровзрывным способом, блоковые восстающие выработки — методом секционного взрывания. Удельный расход проходческих работ в отдельных блоках изменяется от 10–12 м³/1000 т добычи сырой руды при системе разработки с массовым обрушением руды и вмещающих пород до 12.4–22.6 м³/1000 т добычи сырой руды при системе разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями.

В условиях Шерегешевского месторождения схема подготовки в основном ортовая и штрековая. Орты проходят вкрест простирания рудных залежей через 27–30 м. Из откаточных ортов проходятся нарезные выработки, выработки днища и подсечки. Одновременно с проходкой нарезных выработок днища блока проходятся буровые выработки на вышележащем горизонте. Буровые орты проходятся на уровне основного откаточного орта или ниже на 10–15 м и одновременно с ними — отрезные восстающие. Из камер под ВДПУ проходят заходки под дучки. Дучки короткие 4.5–5.5 м. В верхней части дучек проходятся траншейные орты, разрезной штрек на всю ширину блока и буровые выработки под пучки скважин.

Подготовка участков рудных залежей для отработки с применением самоходной техники производится поэтажными полевыми транспортными штреками, расположенными в лежащем боку рудной залежи вне зоны сдвижения, проходимыми из соединительных уклонов.

К нарезным выработкам относятся буродоставочные орты, отрезной штрек и отрезной восстающий. Орты проходятся из полевых транспортных штреков. Из ортов проходятся заходки, которые могут располагаться как вкрест, так и по простиранию рудного тела в зависимости от его мощности. Удельный объем подготовительно-нарезных работ на 1000 т добычи сырой руды составляет при расположении заходов вкрест простирания рудного тела 24.8 м³, в том числе по руде 16.0 м³; по простиранию — 35.1 м³, в том числе по руде 17.0 м³.

Самоходные погрузочно-доставочные машины (ПДМ) и буровые каретки получают все большее распространение на рудниках, что обусловлено их высокой производительностью, мобильностью и универсальностью. В условиях Шерегешевского месторождения осуществлены опытно-промышленные испытания технологии с использованием самоходной техники. Отрабатывается опытно-промышленный участок Новый Шерегеш, представленный пятью блоками 24, 23, 22, 21, 21а, технологией с применением переносного ручного оборудования, ПДМ и комплекса самоходного оборудования (ПДМ и самоходной буровой каретки). При существующей технологии подготовка блока занимала 14 мес, при использовании ПДМ — 17 мес, а при применении комплекса машин — 11 мес. Сравнительные технологические показатели по различным схемам подготовки представлены в табл. 1.

Удельные показатели в м/1000 т почти не различаются как при существующей технологии, так и при применении ПДМ или использовании комплекса самоходного оборудования. Удельные показатели в м³/1000 т различаются в пределах 10–20 % в связи с увеличением сечения выработок под самоходное оборудование. Однако внедрение комплекса самоходного оборудования позволяет значительно сократить время на подготовку блока за счет высокой производительности, улучшения условий труда и повышения безопасности выполнения операций.

ТАБЛИЦА 1. Показатели по применяемым технологическим схемам подготовки блоков

Показатель	Существующая технология	Погрузочно-доставочная машины	Комплекс самоходного оборудования
Запасы, тыс. т	377	377	377
Объем, м	1223	1280	1280
Нарезные работы, м ³	6115	6784	7424
Удельный объем:			
нарезных выработок на 1000 т, м	3.2	3.4	3.4
добываемой рудной массы, м ³	16.5	18.0	19.6

ТЕХНОЛОГИЯ ВЕДЕНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ

На Казском месторождении добыча руды на гор. –160 ÷ –230 м осуществляется с применением системы разработки этажного принудительного обрушения с отбойкой руды глубокими скважинами на ранее отбитую горную массу соседнего блока или на компенсационные камеры (рис. 5).

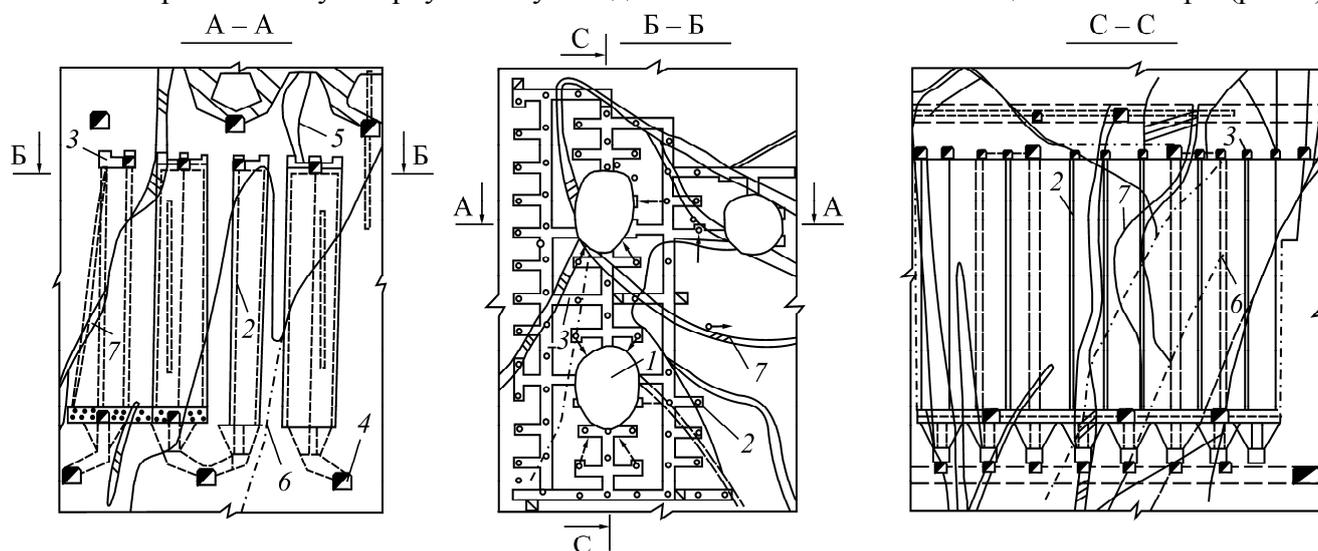


Рис. 5. Система этажного принудительного обрушения: 1 — компенсационные камеры; 2 — пучковые скважинные заряды ВВ; 3 — буровые выработки; 4 — орт; 5 — сближенные горизонтальные скважинные заряды ВВ; 6 — тектонические трещины; 7 — геологические зоны; А–А — сечение вкрест простирания рудного тела; Б–Б — сечение по буровому горизонту; С–С — сечение по простиранию рудного тела

Выпуск руды из блока проводится через рудовыпускные воронки. Параметры системы разработки: высота блока 70, ширина 60, длина 27 м. Схема подготовки ортовой; расстояние между выпускными выработками 11 м; высота подсечного горизонта от уровня откаточного горизонта 14 м. Потери при добыче руды составляют 12.1 %, разубоживание — 25.9 %.

Технология ведения очистных работ на шахте Таштагольского месторождения происходит несколько иначе. Запасы железной руды месторождения разделяются на свободные от целиков, запасы в охранных целиках под р. Кондома и жилым поселком и запасы в охранных целиках под объектами промплощадки.

Для разработки рудных участков на месторождении используются следующие системы: на Юго-Восточном участке — этажно-камерная с маганизированием руды, этажное принудительное обрушение; на Восточном участке — этажное принудительное обрушение, этажно-камерное с закладкой; на Северо-Западном участке — этажно-камерное с закладкой [7].

Отработка запасов руды системой этажного принудительного обрушения выполняется с отбойкой руды на компенсационные камеры и зажатую среду. Для снижения удароопасности горные работы ведутся в направлении от участков с повышенной концентрацией напряжений к участкам с пониженной концентрацией.

При интенсивной отработке слепого рудного тела Юго-Восточного участка месторождения в каждом блоке образованы компенсационные камеры (перепускные) прямоугольной формы вкрест простирания рудного тела, высотой в два этажа $\pm 0 \div + 70 \div + 140$ м, шириной 8 м, длиной от 12.5 до 32.0 м. На компенсационные камеры проводят отбойку слоев в этаже $+ 70 \div + 140$ м. Отбитая руда через перепускные щели самотеком поступает на гор. ± 0 м и выпускается посредством ВДПУ-4ТМ [7].

Показатели по массовому взрыву блока 1:

Балансовые запасы, тыс. т	153.9
Содержание железа в балансовой руде, %	28.6
Запасы сырой руды, подлежащей выпуску, тыс. т	188.25
Содержание железа в сырой руде, %	24
Объем обрушаемой горной массы, м ³	59 524
Количество скважин, шт.	669
Общая длина скважин, м	14 229
Общее количество ВВ, кг	120 076
в том числе:	
аммонит № 6 ЖВ	3365
аммонит № 6 ЖВ (порошок)	5565
граммонит 79/21	111 146
Количество СИНВ, шт.	205
Количество электродетонаторов, шт.	2
Общая длина ДШ, м	12 500
Интервалы замедлений, мс	
40–60–80–100–125–150–175–200–250–300–350–400	11
Коэффициент разрыхления	1.29
Удельный расход ВВ, кг/т	0.64
Выход руды с 1 м скважины, т	13.10

Применение данной геотехнологии отработки позволило совместить взрывание слоев в этаже $+ 70 \div + 140$ м, вести подготовку слоев в этаже $\pm 0 \div + 70$ м, а также избежать затрат на проходку и строительство горизонта выпуска $+ 70$ м.

С вводом в эксплуатацию закладочного комплекса и началом отработки запасов руды в предохранительных целиках под р. Кондома выемка запасов северного фланга участка Восточный предусматривается с применением этажного принудительного обрушения и этажно-камерной системы с закладкой твердеющими смесями. Закладочную смесь готовят на закладочном комплексе, расположенном в районе ствола “Северный”. Состав смеси: молотый граншлак, отходы ДОФ Таштагольского филиала (фракция 0–14 мм), портландцемент М400, вода. С целью снижения затрат для твердеющей смеси используют дешевые вяжущие вещества — гранулированные доменные шлаки Новокузнецкого и Западно-Сибирского металлургических комбинатов, а в качестве заполнителей — хвосты ДОФ Таштагольской и Шерегешской шахт.

Порядок перехода от системы с обрушением руды и вмещающих пород к системе с закладкой выработанного пространства предусматривает образование в массиве пород разделительного рудного целика, непосредственно являющегося переходным участком, и искусственного

барьерного целика. Ширина разделительного рудного целика 27 м, блоки 1 и 01 в этаже гор. – 140 ÷ – 70 м образуют искусственный барьерный целик шириной по простиранию рудной зоны 54 м. В блоке 1 камеры располагаются длинной стороной по направлению простирания рудных тел, в блоке 01 — вкрест простирания [8].

Разработан следующий порядок отработки Северного фланга рудного массива в этажах – 140 ÷ – 70 и – 210 ÷ – 140 м (рис. 6).

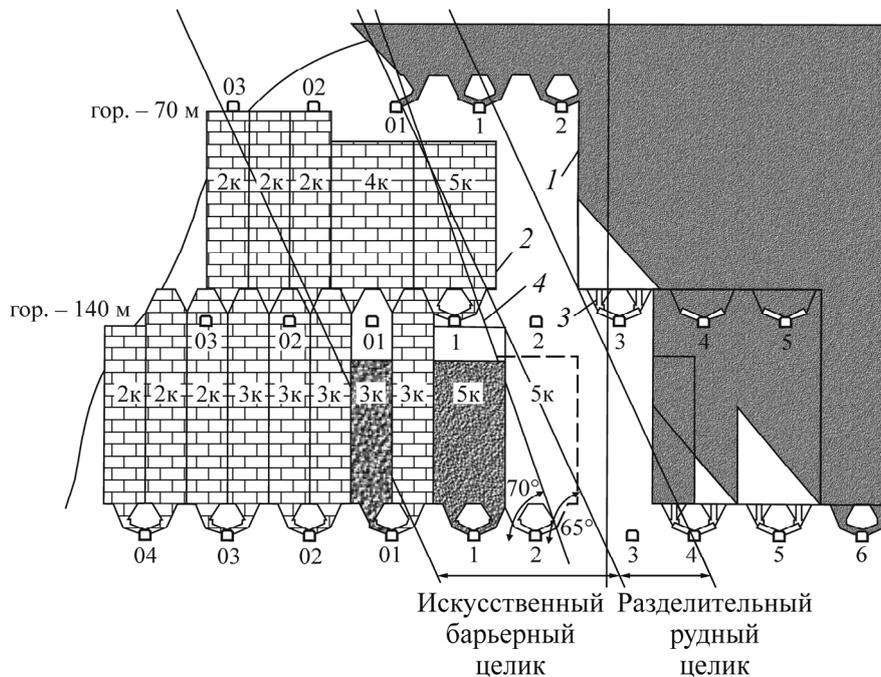


Рис. 6. Схема отработки камер в этажах – 210 ÷ – 70 м: 1 — обрушенные горные породы; 2 — закладка; 3 — выпускные выработки; 4 — граница охранного целика; 01–04, 1–6 — номера ортов; 2к, 4к, 5к — количество камер по простиранию

1. Одновременно с отработкой и обрушением свободных от охранного целика запасов блока 3 начинается отработка с твердеющей закладкой блока 01.

2. После отработки блока 01 дальнейшую выемку запасов руды Северного фланга от границы этого блока осуществляют по технологии отработки запасов камерами вкрест простирания с закладкой твердеющей смесью. В этаже – 210 ÷ – 140 м отрабатываются с обрушением запасы блоков 4 и 5, свободные от охранного целика. В качестве разделительного рудного целика в этаже – 210 ÷ – 140 м оставляется блок 3.

3. Отработка запасов руды начинается обратным порядком от фланга в направлении к зоне обрушения запасов в этаже – 210 ÷ – 140 м. По окончании отработки с обрушением свободных от охранного целика запасов блоков 4 и 5 в этаже – 210 ÷ – 140 м формируется искусственный барьерный целик в блоке 1 в этаже – 140 ÷ – 70 м. Он создается путем отработки камер с параметрами: длина по простиранию 27 м, ширина вкрест простирания не более 13,5 м.

4. Отрабатывается Северный фланг месторождения в этаже – 210 ÷ – 140 м и формируется искусственный барьерный целик в блоке 1 с расположением камер по простиранию рудного тела.

Северо-Западный участок месторождения также расположен в предохранительном целике под р. Кондома. Отработка участка в этаже – 210 ÷ – 140 м начинается с наиболее мощной части рудного тела этажно-камерной системой с твердеющей закладкой. Предусматривается отработка рудного тела отдельными камерами в определенном порядке с последующей их закладкой твердеющими смесями.

Порядок отработки камер определяется с учетом крепости горных пород и устойчивости руд и вмещающих пород, а также целиков с искусственной закладкой. В практике применяют отработку камер через одну, две, сплошную и комбинированную. Наиболее эффективна для Таштагольского месторождения последовательная отработка камер через одну, при которой достигается высокая интенсивность очистных работ при достаточной устойчивости искусственных целиков и прочности закладки на сжатие, составляющая 6–8 МПа и более. Размеры камер: ширина 12.5–13.5, высота 70 и длина 35 м (рис. 7).

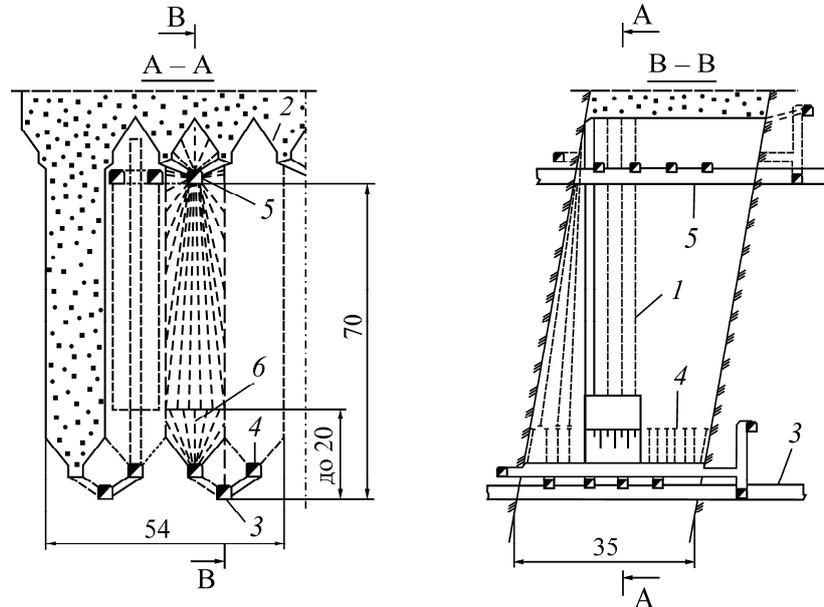


Рис. 7. Этажно-камерная система разработки с закладкой выработанного пространства на Северо-Западном участке Таштагольского месторождения: 1 — скважины; 2 — закладка; 3 — откаточный орт; 4 — траншейный орт подсечки; 5 — выработки бурового горизонта; 6 — веера подсечки; А–А — сечение вкрест простирания рудного тела; В–В — сечение по простиранию рудного тела

Отработка рудного тела осуществлялась с камеры 2 блока 13. Отбойка проводилась пучковыми сближенными и веерными зарядами ВВ. Ниже приведены технические показатели по камере 2 блока 13 в этаже – 210 ÷ – 140 м.

Балансовые запасы камеры, тыс. т	89.6
Содержание Fe в балансовых запасах камеры, %	51.9
Сырая руда, подлежащая выпуску, тыс. т	98.4
Содержание Fe в сырой руде, подлежащей выпуску, %	45.6
Объем обрушаемой горной массы, м ³	23465
Потери по камере, %	7.1
Разубоживание по камере, %	12.0
Объем нарезных работ, м ³	2530
Удельный расход нарезных работ на 1000 т рудной массы, м	6.6
Количество установок ВДПУ, шт.	3
Количество ВВ на подсечку, кг	4074.9
Количество ВВ на образование отрезной щели, кг	5304
Количество ВВ на обрушение камеры, кг	42021.9
Общее количество ВВ на камеру, кг	51400.8
Коэффициент разрыхления	1.6
Общий объем бурения глубоких скважин по камере, м	6534.25
Удельный расход ВВ на первичную отбойку, кг/т	0.544
Выход руды с 1 м скважин, т/м	13.76

Показатели по применяемым системам разработки на Восточном и Северо-Западном участках представлены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. Основные показатели по системам разработки

Показатели	Система разработки	
	с обрушением	с закладкой
Размеры технологического блока, м:		
высота	70	70
ширина	27	54
длина	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	2.5–4.0 / 12.4
скважины Д 65 мм, м	6.0	6.0
скважины Д 105 мм, м	52.4	58.2
ВВ на отбойку, кг	500–550	500–550
ВВ на выпуске руды, кг	48	48
Производительность труда рабочего по системе разработки, т/смену	69.1	38.3

Из табл. 2 видно, что система разработки с обрушением характеризуется меньшим расходом на ПНР и более высокой производительностью на выпуске руды, а система разработки с закладкой имеет лучшие качественные показатели извлечения руд (потери и разубоживание), которые снизились с 11 и 30 до 8 и 16 %.

Если геотехнология ведения горных работ на Казском и Таштагольском месторождениях направлена на выполнение уже достигнутых объемов производства, то на Шерегешевском месторождении — на увеличение объемов. На Шерегешевском месторождении горные работы по очистной выемке ведутся на участках Главный, Новый Шерегеш и Подрусловый. Отработка участков Главный и Новый Шерегеш осуществляется системой этажного принудительного обрушения. Вовлечение в эксплуатацию слепого рудного тела Подруслового участка обусловлено необходимостью поддержания и увеличения производственной мощности. С учетом анализа сложившейся на месторождении и на участке Подрусловый геомеханической ситуации обоснована возможность безопасной подработки водного объекта (р. Большая Речка) системой разработки с обрушением вмещающих пород. Для отработки участка в этаже +185 ÷ +255 м принята этажно-камерная система разработки с открытым выработанным пространством. Основной закономерностью процесса сдвижения горных пород на глубоких горизонтах ($H/L > 2-3$, где H — верхняя глубина разработки, L — размеры залежи по простиранию или падению) является локализация процесса обрушения и зоны опасных деформаций внутри подрабатываемого массива без выхода сдвижений и деформаций на земную поверхность [9].

Отработка рудного тела начата с блока 1 этажно-камерной системой разработки, который является первым разрезным в этаже +185 ÷ +255 м. Длина и ширина блока составляют соответственно 110 и 27–40 м, высота — 125 м. Общие запасы блока 411.2 тыс. т, масса зарядов ВВ —

245.6 т. Удельный расход ВВ на отбойку равен 0.568 кг/т. Взрывание панелей блока выполнялось на компенсационные камеры восходящими, нисходящими и горизонтальными пучковыми сближенными скважинными зарядами ВВ. Блок 10 — завершающий в данном этаже (рис. 8, 9).

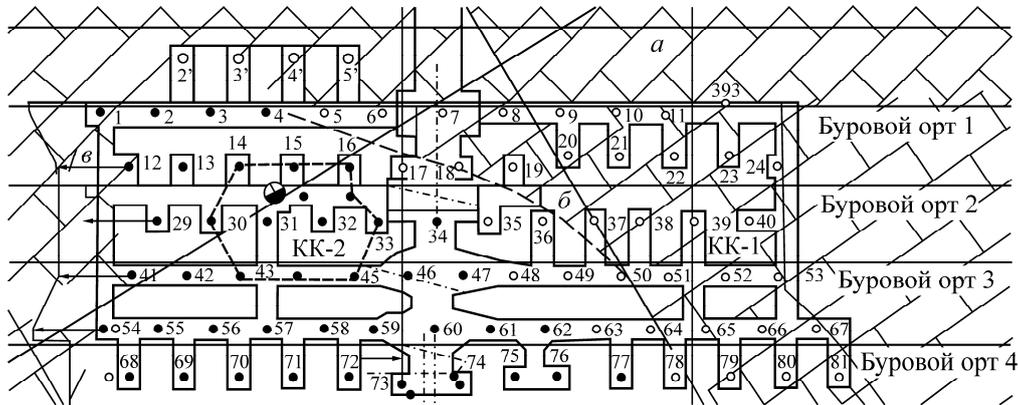


Рис. 8. Схема отработки блока 10 Подруслового участка: 1–81 — пучковые и веерные заряды; КК-1, КК-2 — компенсационные камеры; а — горная порода; б — руда; в — направление скважин

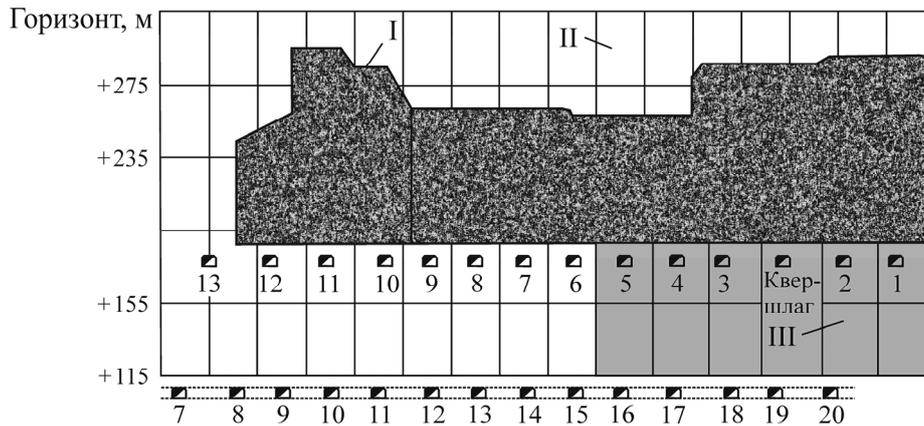


Рис. 9. Отработка блоков на Подрусловом участке этажно-камерной системой разработки и подэтажного обрушения: I — выработанное пространство; II — вмещающий массив горных пород; III — система разработки подэтажного обрушения; 1–20 — номер орта

На границах горизонтов +115 ÷ +185 м выемка запасов руды участка проводилась системой подэтажного обрушения с применением самоходной техники, которая позволяет повысить концентрацию и интенсивность отработки запасов (рис. 10) [10]. Технические показатели по блоку системы подэтажного обрушения:

Запасы руды в блоке, тыс. т	2387.4
Потери руды общие, %	17
Разубоживание руды, %	17.3
Объем подготовительных выработок, м	606
Объем подготовительных выработок, м ³	9845
Объем нарезных выработок, м	2643
Объем нарезных выработок, м ³	49676
Общий объем проходческих работ, м	3249
Общий объем проходческих работ, м ³	59521
Объем бурения взрывных скважин в блоке, п. м	126269.2

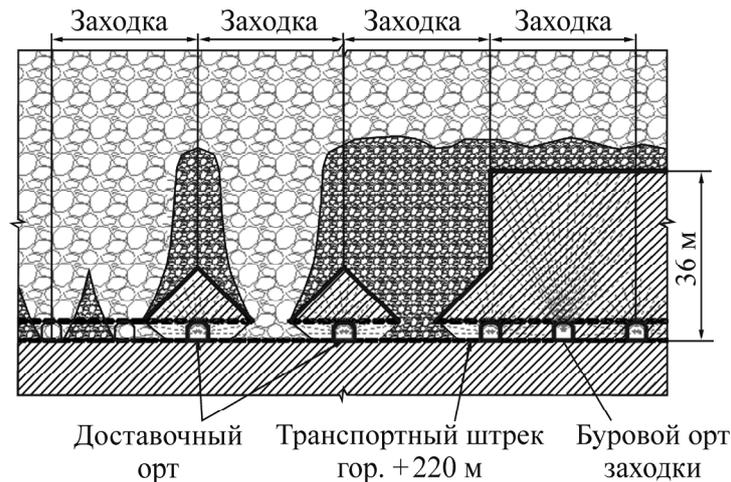


Рис. 10. Система подэтажного обрушения на Юго-Западном рудном теле участка Новый Шерегеш Шерегешевского месторождения

Проведенный анализ технологий ведения очистных работ на месторождениях Горной Шории показал, что система разработки с массовым обрушением руды и пород имеет меньший расход ПНР и более высокую производительность на выпуске руды, чем система с закладкой, но система с закладкой выработанного пространства дает лучшие качественные показатели извлечения руды. Система разработки подэтажного обрушения с применением самоходной техники имеет повышенные на 10–20% удельные показатели ПНР в связи с увеличением сечения выработок под самоходное оборудование. Главное достоинство этой системы — сокращение времени на подготовку и ввод блоков в очистную выемку за счет высокой производительности оборудования, улучшения условий труда и повышения безопасности выполнения работ. Большую роль по обеспечению безопасности и эффективности горных работ оказывает технология крепления горных выработок.

КРЕПЛЕНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

В зависимости от назначения горизонтальных и наклонных горных выработок, срока службы, устойчивости и нарушенности пород предусматривается крепление их различными видами постоянной крепи. Для крепления капитальных выработок применяется бетонная и железобетонная крепи, подготовительных и нарезных выработок — комбинированные крепи (штанги и набрызг-бетон), усиленные комбинированные и различные виды анкерных крепей с металлической сеткой и без нее. В качестве временной крепи горных выработок используются элементы постоянной крепи. На основе анализа материалов многолетних исследований, выполненных институтами ВостНИГРИ, ИГД СО РАН, КузНИИшахтострой, ВостНИИ, СибГИУ, КузГТУ, их рекомендаций, методических указаний, а также опыта применения крепи на рудниках АО «Евразруда» и других железорудных предприятий, в том числе зарубежных, разработан алгоритм прикладной программы «ЕвразрудаКреп» [11].

Программа позволяет в изменяющихся условиях оперативно оценивать конкретную ситуацию с креплением выработки на трассе ее проходки и применять эффективные виды крепи. Для использования программы необходимо задать исходные данные: среднее расчетное расстояние между трещинами в массиве горных пород или руд, коэффициент крепости пород (руд) по шкале Протодьяконова, месторождение, на котором проектируется крепь, глубина заложения выработки, объемный вес породы (руды), высота и ширина выработки в свету, поперечное сечение горной выработки в свету, степень удароопасности горного массива месторождения или его участка, взаиморасположение направлений проходки выработки и максимальной горизонтальной составляющей напряжения.

ПРИМЕНЯЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

В целях обеспечения безопасности горных работ и повышения производительности труда на месторождениях Горной Шории применяется различное горно-шахтное оборудование (табл. 3).

ТАБЛИЦА 3. Перечень основного горного оборудования

Наименование работ	Тип оборудования	
Подготовительные работы		
Проходка горизонтальных выработок (рельсовые)		
Бурение шпуров	Буровая установка УБШ-207	
Погрузка горной массы	Погрузочная машина 1ППН-5	
Проветривание	Вентиляторы ВМЭ-6/1, ВМЭ-5/1	
Транспортирование горной массы	Электровоз К10, К14; вагонетка ВБ-4,5; ВБ-2,5; ВГ-4,5	
Нарезные работы		
Проходка горизонтальных и наклонных выработок		
Бурение шпуров	Буровые установки ПБУ, ПБУМ, ПБУ-1, УПБ-1Б, перфораторы ПП-54В4, ПТ-48А	Буровая установка Минибур А200 РПН (Финляндия)
Уборка и погрузка горной массы	Погрузочно-транспортная машина ПТ-4, скреперная лебедка 30ЛС-2СМ, 55ЛС-2СМ	Эймко-911 (922) (США), погрузочно-доставочная машина TORO-151Е (Финляндия)
Проветривание	Вентиляторы ВМЭ-6/1, ВМЭ-5/1	
Проходка вертикальных выработок (отрезные, рудопородоспускные и др.)		
Бурение глубоких скважин Ø 105 мм	Буровые станки НКР-100МНА	Буровой станок СММ-2 (США)
Бурение глубоких скважин Ø 110 – 250 мм	Буровые станки БП-100, БП-100ПН-У, СБУ-6	
Бурение скважин Ø 65 мм	Телескопный перфоратор ПТ-48А	Буровой станок Соло Г606 ГА (Финляндия)
Очистные работы		
Погрузка – доставка руды из блока	Вибродоставочная установка ВДПУ-4ТМ, ВДПУ-6	
Транспортирование руды до дробильного комплекса	Электровоз К14М; вагонетка ВГ-9,0; ВГ-4,5; ВБ-4,5	
Бурение глубоких скважин Ø 165, 105 мм	Буровой станок НКР-100МНА	Буровой станок СММ-2 (США)
Бурение глубоких скважин Ø 110 – 250 мм	Буровые станки БП-100, БП-100ПН-У, СБУ-6. Пневмоударники П-110-2,8; П-160-5,5. Расширитель Р-250-160Ш	
Бурение скважин Ø 65 мм	Телескопный перфоратор ПТ-48А	Буровой станок Соло Г606 ГА (Финляндия)
Заряжание скважин	МЗКС-160	
Доставка материалов и оборудования	Электровоз К10, спецвагонетки	
Крепление горных выработок		
Укладка бетона	ПБУ, ЛПБУ-1, УБ-1А, С-250	
Нанесение торкретбетона	СБ-67Б-2	

Для системы подэтажного обрушения на Шерегешевском месторождении использовались: шведские самоходные буровые установки Sandvik-DD211 (DD321, DD311, DD310); Sandvik-DL311-7 (DD310); Simba M6, Solo-5; погрузочно-доставочные машины ST-1030, Toro-7, LH410-1; зарядание забоев — зарядные машины Charmec-1610B, МЗКС-160; торкрет-установка Aliva 237; вентиляторы местного проветривания СВМ-5 (6), ВМЭ-6 (8, 12); насосы забойные Н-1М.

ОЦЕНКА СЕБЕСТОИМОСТИ ДОБЫЧИ И ОБОГАЩЕНИЯ РУДЫ

Для определения рентабельности и конкурентоспособности добычи железных руд на месторождениях и производства товарного концентрата по АО «Евразруда» проведена оценка себестоимости добычи и обогащения руды на Таштагольском, Казском, Шерегешевском месторождениях и производства железорудного сырья (ЖРС) на Абагурской обогатительно-агломерационной фабрике (АОАФ).

На рис. 11 представлены данные за 2011–2016 гг. по каждому из предприятий отдельно и по месторождениям Горной Шории (АО «Евразруда») в целом в рублях и долларах США. Для предприятий Горной Шории отмечено снижение себестоимости производства ЖРС на 6%. Это достигнуто в основном благодаря снижению себестоимости промпродукта на Шерегешевском месторождении (–28%), которое произошло за счет увеличения более чем в 2 раза объемов добычи (с 1963 тыс. т в 2011 г. до 4600 в 2016 г.) и производства товарной продукции (с 969 тыс. т в 2011 г. до 3010 в 2016 г.) по сравнению с предыдущими годами. При этом на Таштагольском месторождении и Абагурской аглофабрике наблюдался рост себестоимости — 19 и 20% соответственно. Причины — рост затрат на топливо, электроэнергию, оплату труда.



Рис. 11. Себестоимость производства железорудного сырья: а — на предприятиях АО «Евразруда»; б — на предприятиях Горной Шории

Себестоимость производства ЖРС в долларовом эквиваленте показывает тенденцию к снижению. В целом по месторождениям Горной Шории она снизилась за период с 2011 по 2016 г. более чем в 2 раза (61%), по Шерегешевскому месторождению 71%, что вызвано резким снижением курса рубля в 2014 г.

Для оценки уровня конкурентоспособности месторождений Горной Шории проведено сравнение долларового значения себестоимости ЖРС с аналогичными показателями ведущих зарубежных производителей. Мировой рынок железной руды характеризуется высокой степенью консолидации. Ведущие компании (Vale, BHP Billiton, Rio Tinto и FMG) контролируют более 70% мировой торговли железной рудой. Именно они определяют динамику мирового производства и цен на ЖРС (табл. 4) [12].

ТАБЛИЦА 4. Крупнейшие мировые компании (“Большая четверка”) производители ЖРС в 2015 г.

Компания	Страна	Рыночная стоимость	Выручка
		млн долл.	
ВНР Billiton	Австралия/Великобритания	122335.4	69372.1
Rio Tinto	Австралия/Великобритания	77074.5	45107.7
Vale	Бразилия	27857.6	33210.7
Fortescue Metals Group (FMG)	Австралия	223.5	300.0

На рис. 12 приведены данные по динамике себестоимости железорудного концентрата компаний “Большой четверки” за 2011–2016 гг.

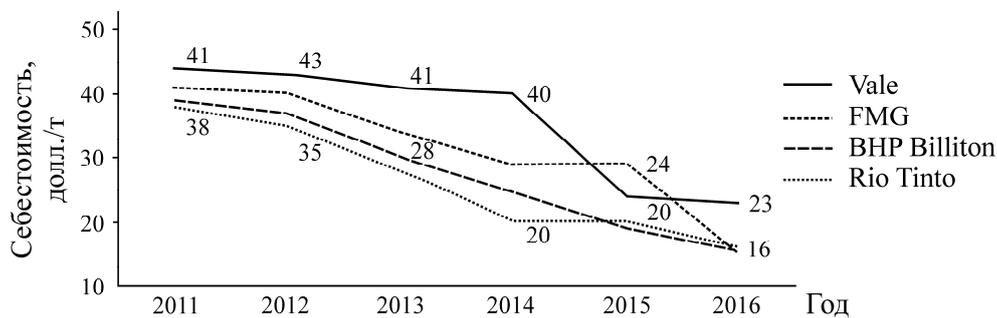


Рис. 12. Динамика себестоимости железорудного сырья компаний “Большой четверки”

Видно, что зарубежные компании активно стремятся к снижению издержек. Это делается в основном за счет развития производства, улучшения логистики, снижения транспортных расходов и диверсификации своих активов.

Сопоставление данных по себестоимости ЖРС “Большой четверки” и предприятий Горной Шории показывает, что себестоимость на месторождениях Горной Шории выше себестоимости “Большой четверки” (рис. 13). Это связано с условиями добычи и качеством железорудного сырья. Проанализированные изменения мировых цен на железорудное сырье подтверждают, что действующая цена ЖРС на предприятиях Горной Шории в целом соответствует рыночным условиям.

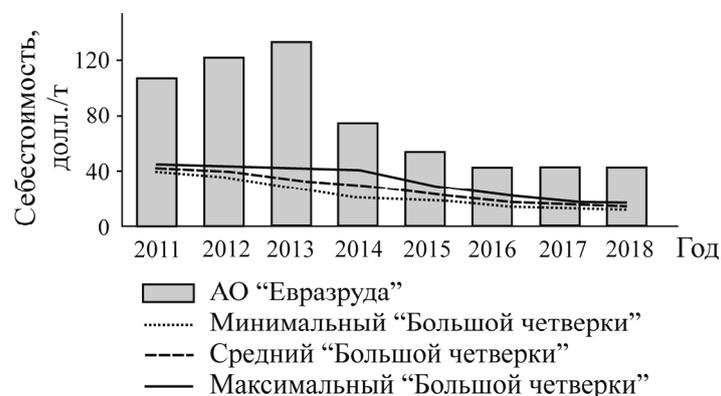


Рис. 13. Динамика и прогноз себестоимости железорудного сырья “Большой четверки” и АО “Евразруда” за 2011–2018 гг.

ВЫВОДЫ

Особенностями освоения месторождений Горной Шории являются сложные горно-геологические и геомеханические условия, которые при переходе горных работ на глубины 1000 м и более оказывают влияние на интенсивность геодинамических явлений, при этом следует отметить, что рудные участки месторождений отнесены к склонным и опасным по горным ударам. Применение систем этажного принудительного и подэтажного обрушения, этажно-камерной системы с закладкой и без закладки, направление горных работ от участков с повышенной концентрацией напряжений со стороны висячего бока к участкам с пониженной концентрацией толчков способствует снижению удароопасности.

Системы разработки с обрушением позволяют вести отработку запасов руд, свободных от охранных целиков. Данная геотехнология имеет меньший расход подготовительно-нарезных работ и более высокую производительность на выпуске руды. Система разработки с закладкой отрабатывает запасы руд в охранных целиках с лучшими качественными показателями извлечения руды (потери и разубоживание). Система подэтажного обрушения с применением самоходной техники повышает концентрацию и интенсивность отработки запасов. Потери и разубоживание по данной системе разработки составляют 17.0 и 17.3 % соответственно.

Использование при проходке горных выработок комплексов самоходного оборудования приводит к увеличению удельных объемов нарезных выработок на 1000 т добываемой рудной массы в пределах 10–20 % по сравнению с переносным оборудованием. Увеличение сечения выработок под самоходное оборудование и применение производительной техники, особенно при уборке горных пород и бурении, способствует снижению времени на подготовку блоков на 20 %.

Рациональные параметры систем разработки и порядок отработки блоков позволяют вести отработку слепых рудных тел без закладки с открытым выработанным пространством в целиках под реками и объектами промплощадок.

Проведенная оценка уровня конкурентоспособности предприятий Горной Шории показала, что себестоимость их продукции выше себестоимости ведущих зарубежных компаний, (в среднем на 27 долл./т). Это связано с условиями добычи и качеством железорудного сырья, но в целом его действующая цена для месторождений Горной Шории соответствует рыночным условиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Eremenko A. A.** Blast design for improved performance and reduced surface vibration — a case study, Eighth International Conference on Deep and High Stress Mining, Deep 2017-JWesseloo(ad)-2017 Australian Centre Geomechanics, Perth. — P. 961–974.
2. **Eremenko A. A., Koltyshev V. N., Eremenko V. A., Shtirtz V. A.** Seismic hazard assessment and abatement geotechnology for safe iron ore mining in west Siberia, 8th Int. Symposium on Rockburst and Seismicity in Mines, Geophysical Survey of Russian academy of Sciences. Obninsk; Mining of Ural Branch of Russian of Sciences, Perm, 2013. — P. 434–445.
3. **Еременко А. А., Еременко В. А., Александров А. Н., Колтышев В. Н.** Опыт разработки безопасной и эффективной геотехнологии освоения рудных месторождений Сибири // ФТПРПИ. — 2014. — № 5. — С. 90–106.
4. **Шрепп Б. В., Мозолев А. В., Гайдин П. Т. и др.** Оценка эффективности элементов удароопасности технологии на Таштагольском руднике // Горн. журн. — 1989. — № 12. — С. 43–46.

5. **Еременко А. А., Еременко В. А., Гайдин А. П.** Горно-геологические и геомеханические условия разработки железорудных месторождений в Алтае-Саянской складчатой области. — Новосибирск: Наука, 2009. — С. 17–18.
6. **Филиппов П. А., Цинкер Л. М., Квочин В. А.** Технологические аспекты отработки участка Подрусловый на Шерегешевском месторождении // Научно-технический прогресс — основа развития Шерегешского рудника. — Новосибирск: ЦЭРИС, 2002. — С. 96–100.
7. **Колтышев В. Н., Башков В. И., Щептев Е. Н., Штирц В. А. и др.** Особенности развития очистных работ в предохранительных целиках под промышленными и водными объектами // ГИАБ. — 2014. — № 4. — С. 11–17.
8. **Шрепп Б. В., Цинкер Л. М., Филиппов П. А.** Перспективы отработки участка Подрусловый на Шерегешевском месторождении // Научно-технический прогресс — основа развития Шерегешского рудника. — Новосибирск: ЦЭРИС, 2002. — С. 101–106.
9. **Александров А. Н., Шултаев С. К., Щептев Е. Н., Торопов В. М. и др.** Оценка состояния породного массива на участке “Подрусловый” Шерегешевского месторождения // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды. Т. 1. Геотехнология: сб. трудов. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2012. — С. 243–246.
10. **Филиппов П. А., Цинкер Л. М., Квочин В. А.** Технологические аспекты отработки участка Подрусловый на Шерегешевском месторождении // Научно-технический прогресс — основа развития Шерегешского рудника. — Новосибирск: ЦЭРИС, 2002. — С. 96–100.
10. **Еременко А. А., Башков В. И., Филиппов В. Н.** Обоснование конструктивных параметров геотехнологии на удароопасном месторождении в условиях перехода от камерной системы разработки к поэтажному обрушению // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук: сб. трудов. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2014. — № 3. — Т. 1. — С. 50–55.
11. **Методическое руководство** по креплению горных выработок и наблюдению за состоянием крепи на рудниках ОАО “Евразруда”. — Кемерово; Новокузнецк, 2013. — С. 22–24.
12. **Обзор РС&W.** Горнодобывающая промышленность. Победить любой ценой // Обзор мировых тенденций в горнодобывающей отрасли, 2015.
<http://www.pwc.ru/ru/mining-and-metals/publications/assets/mine-2015-gloves-off.pdf>.

Поступила в редакцию 19/IV 2017