Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LVIII, вып. 1, 1969 г.

ОСОБЕННОСТИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ МОЩНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МНОГОСОРТНЫХ РУД

А. И. Шаблыгин, В. Г. Елисеев

Сложность горно-геологических условий залегания и многосортность промышленных сортов руд — характерные черты многих рудных месторождений. Разработка таких месторождений нередко представляет значительные трудности и требует всестороннего технико-экономического анализа для выбора не только системы разработки, но и участка или сорта руд первой очереди отработки. Оптимальный вариант разработки месторождений и выбор участка первой очереди определяют технико-экономическим расчетом с учетом плановых показателей производства того или иного вида минерального сырья, особенностей горно-геологических условий, количества запасов руд каждого сорта, удаленности месторождений от основных промышленных центров и степени экономического развития района месторождения.

Для разработки наиболее благоприятны такие месторождения, где ценные руды различных сортов залегают в самостоятельных и изолированных рудных телах, а опережающая отработка наиболее богатых и ценных руд не оказывает существенного влияния на последующую разработку руд другого сорта. Но нередко разносортные руды залегают совместно и извлечение каждой из них требует применения сложных систем, обеспечивающих надежное поддержание подрабатываемых запасов для последующей выемки.

Все технологические схемы и системы разработки месторождений многосортных руд, применяемые в настоящее время

в горнорудной промышленности, в зависимости от способа разработки и поддержания подрабатываемых запасов при опережающей выемке могут быть разделены на следующие группы.

1. Системы разработки с опережающей выемкой наиболее ценных сортов руд и поддержанием подрабатываемых запасов:

а) рудными или породными целиками;

б) бетонной или твердеющей закладкой;

в) сухой или гидравлической закладкой;

г) с обрушением подрабатываемых запасов бедных руд.

2. Системы разработки с одновременной выемкой многосортных руд по сортам.

3. Системы разработки с выемкой многосортных руд без разделения по сортам.

К первой группе относятся Норильское и Талнахское месторождения медно-никелевых руд; ко второй можно отнести Кировский апатитовый и Криворожские рудники; к третьей относятся Золотушинский полиметаллический и Североуральские бокситовые рудники.

Характерной особенностью разработки Норильского и Талнахского месторождений следует считать опережающую отработку богатых сплошных сульфидных руд с сохранением значительных запасов более бедных вкрапленных руд для последующей разработки. Сплошные сульфидные и вкрапленные руды Норильского и Талнахского месторождений залегают совместно в виде мощных пологопадающих линз. Контакты между богатыми и вкрапленными рудами четкие, слегка волнистые, местами нарушены тектоническими трещинами. Достаточность запасов и локализация обоих сортов руд в самостоятельных рудных телах облегчают раздельную разработку, но вместе с тем залегание богатых руд непосредственно в почве вкрапленных значительно осложняет опережающую выемку богатых руд (рис. 1).

Многолетней практикой разработки Норильского [А. И. Шаблыгин, 1964], а затем Талнахского месторождения созданы варианты систем разработки, позволяющие раздельно отрабатывать оба сорта руд. Первоначально опережающая отработка богатых руд мощностью до 10—12 *м* осуществлялась камерно-столбовой системой с поддержанием залегающих выше вкрапленных руд целиками. В дальнейшем для улучшения показателей извлечения богатых руд и повышения устойчивости оставленных рудных целиков некоторое время применялась льдозакладка выработанного пространства. На других участках месторождения, когда между выемкой богатых и

вкрапленных руд не предусматривалось длительного перерыва во времени, выработанное пространство не закладывалось (рис. 2).

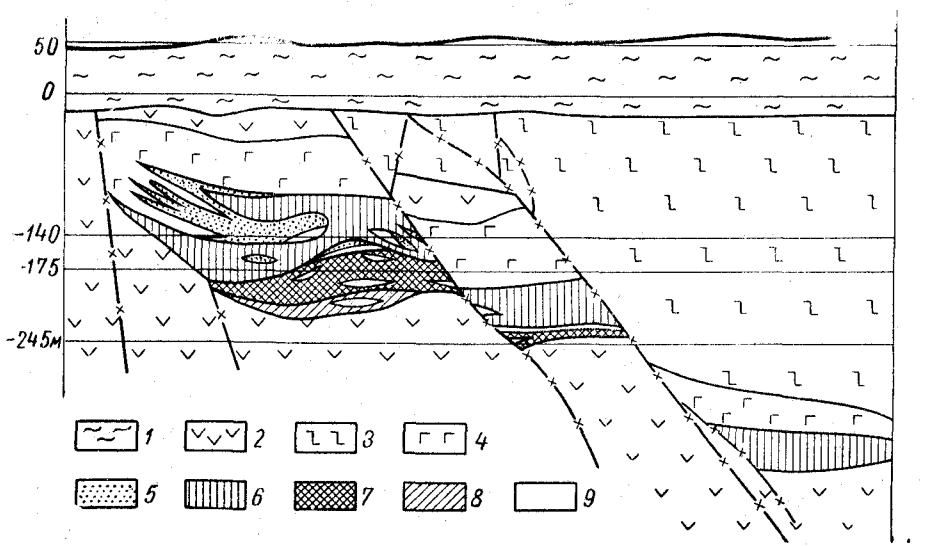


Рис. 1. Геологический разрез Талнахского месторождения:

1 — четвертичные отложения; *2* — осадочные породы; *3* — эффузивные породы; *4* — габбро-диабазы; *5* — забалансовые вкрапленные руды; *6* — вкрапленные медно-никелевые руды; *7* — сплошные сульфидные медно-никелевые руды; *8* — забалансовые мелистые руды; *9* — прослойки некондиционных руд

В последние годы на Заполярном руднике небольшие линзы богатых руд мощностью до 4 *м* отрабатывались камерно-столбовой системой с рудной подготовкой. Ширина камер составляла 6 *м*, целиков — 4 *м*. К концу отработки богатых руд вкрапленные поддерживались рудными целиками размером в плане 6×4 *м*. Общее извлечение богатых руд при опережающей отработке достигло 60—80%. Богатые руды мощностью около 10 *м* отрабатывали камерами с выпуском руды на штреки скреперования. В блоке № 16 до обрушения вкрапленных руд богатые были извлечены на 60—70%. Оставленные целики были взорваны совместно с вкрапленными рудами.

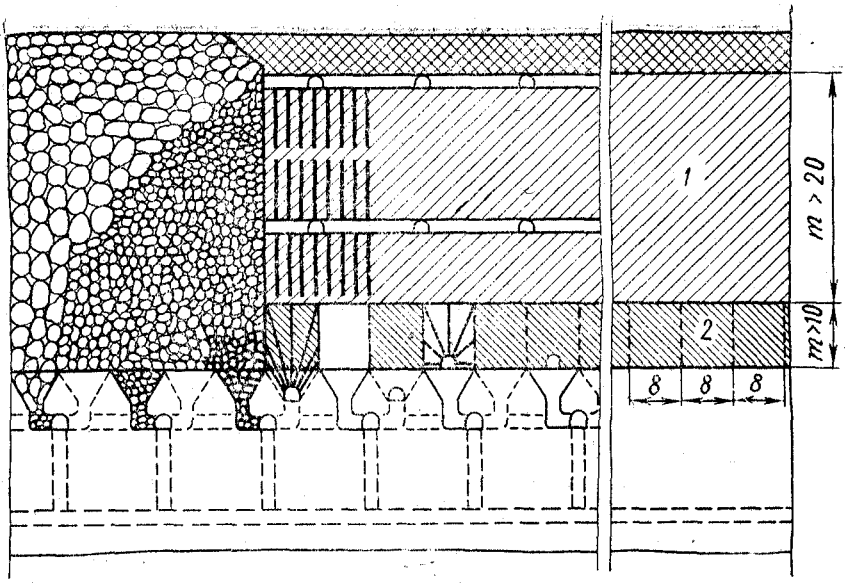


Рис. 2. Схема опережающей отработки богатых руд с поддержанием подрабатываемых запасов рудными целиками

Руда: *1* — вкрапленная; *2* — богатая

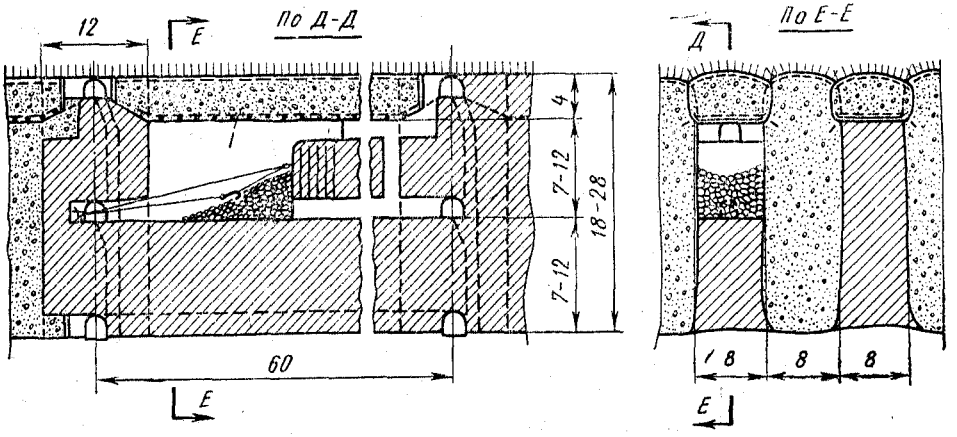


Рис. 3. Схема отработки междукамерных целиков богатой руды сверху вниз под искусственной кровлей

Дальнейшее совершенствование технологии раздельной разработки многосортных руд на Норильском и Талнахском месторождениях шло в направлении повышения показателей извлечения наиболее ценных богатых руд и улучшения их качества за счет снижения разубоживания вкрапленными рудами. Для этого на Заполярном руднике стали применять системы разработки с искусственными бетонными опорами. Опоры, возводимые в отработанных камерах, предотвращали разлет руды при последующей отработке и способствовали некоторому общему повышению извлечения богатых руд, но достигнуть надежного и прочного поддержания ими вкрапленных руд не удалось. Деформации подработанных вкрапленных руд ухудшали условия их отбойки, увеличивали выход негабарита и потери вкрапленных руд.

Таким образом, длительная практика отработки Норильского месторождения показывает, что при пологом залегании поддержание подрабатываемого рудного массива наиболее надежно может быть осуществлено только рудными целиками или совместно рудными целиками с бетонной закладкой. Последняя увеличивает устойчивость оставленных рудных целиков и повышает извлечение богатых руд. Технико-экономические показатели, получаемые при раздельной выемке богатых и вкрапленных руд комбинированными системами, объединенными общностью подготовки и нарезки, выше характерных для обычной валовой отработки.

На Талнахском месторождении, где запасы богатых руд значительны, а поверхность сильно обводнена и не допускает обрушения без проведения специальных мероприятий по осушению и отводу поверхностных и подземных вод, применена последовательная отработка с полной опережающей выемкой богатых руд и поддержанием вкрапленных для последующей разработки бетонной закладкой. Такая система позволяет достигнуть максимального извлечения богатых руд с минимальным разубоживанием, но опережающая выемка богатой руды усложняет последующую отработку и увеличивает потери вкрапленных руд. При опережающей отработке богатые руды Талнахского месторождения в зависимости от системы разработки, мощности рудного тела и сложности горно-геологических условий извлекаются с разубоживанием от 10 до 20%; потери богатых руд незначительны и составляют не более 2%.

Опыт разработки богатых руд Талнахского месторождения показывает, что и в данном случае не всегда удается достигнуть максимального заполнения выработанного пространства

бетонной закладкой. Как правило, в кровле рудного тела остаются пустоты, для заполнения которых необходимо бурить специальные закладочные скважины. Возводимый бетонный массив в результате перерывов в подаче бетона и непостоянства его состава приобретает характерное слоистое строение с прослоями песка и глины. Поэтому прочность его непостоянна и изменяется от 20 до 50 *кГ/см*^{2}. Песчаные и глинистые прослои в бетонном массиве, снижая прочность бетонных целиков в настоящее время, позволят в будущем более равномерно распределиться опорному горному давлению со стороны вкрапленных руд. Очевидно до тех пор, пока давление вкрапленных руд на бетонный массив не стабилизируется, отработка вкрапленных руд будет сопряжена со значительными трудностями.

В настоящее время опережающая отработка богатых руд в условиях Талнахского месторождения значительно осложнена из-за неустойчивости вкрапленных руд непосредственной кровли. Нередко для их поддержания оставляют предохранительную рудную корку, выемка которой в последующем будет затруднена. Поэтому рекомендуется камеры вынимать слоями снизу вверх, а выемку междукамерных целиков вести сверху вниз под железобетонным перекрытием. Выемка руды сверху вниз под искусственной кровлей применяется в Японии на руднике Косако месторождения Учинотай [Kiyomi Kondo, 1967].

На рис. 3 показана рекомендуемая для Талнахского месторождения схема отработки междукамерных целиков сверху вниз под железобетонным перекрытием. Камера для создания искусственной кровли *1* высотой 4 *м* и шириной несколько больше междукамерного целика должна проходиться мелкошпуровым способом. Перед заливкой бетона на почве камеры выкладывается металлическая сетка из арматурной стали. После заполнения камеры бетоном образуется достаточно устойчивое перекрытие, обеспечивающее безопасность работ и минимальное разубоживание ценных руд. В случае нарушения искусственной кровли или угрозы ее обрушения отработанная часть камеры заполняется бетоном.

На Золотушинском руднике руды также неоднородны. Среди них различают сплошные и вкрапленные, которые в свою очередь по минералогическому составу подразделяются на пиритовые, халькопиритовые и полиметаллические. Все сорта руд залегают совместно, зонами неправильной формы. Такое совместное залегание и сравнительно небольшие запасы руд каждого сорта затрудняют раздельную разработку, поэтому

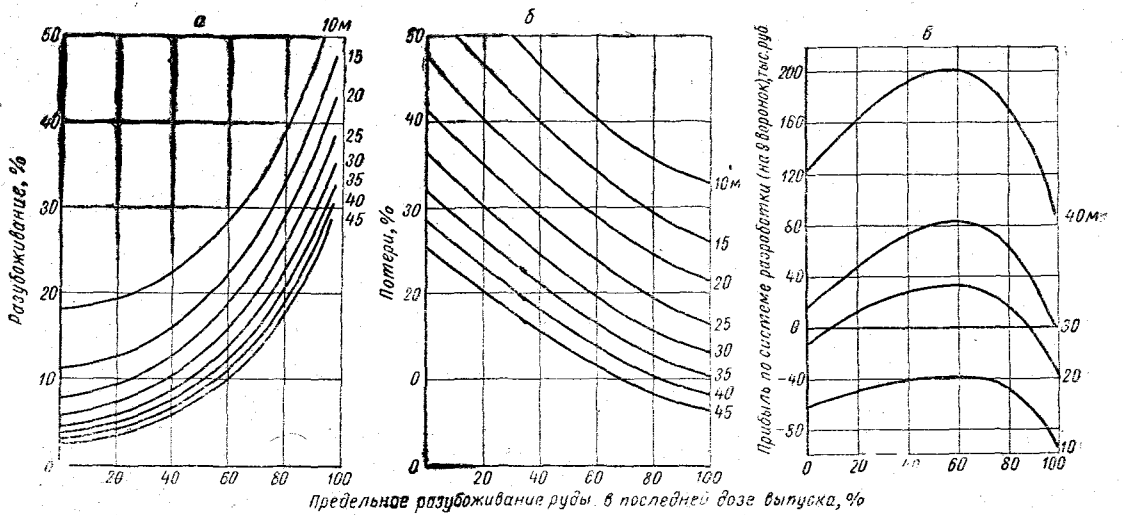


Рис. 4. Влияние изменения потерь и разубоживания руды на величину прибыли при выпуске из блока при одностадийной системе разработки

Изменение при выпуске: *а* — разубоживания руды; *б* — потерь руды; *в* — величины прибыли

полиметаллические руды Золотушинского месторождения добываются одновременно без разделения по сортам.

Опережающая и последующая разработка руд разных сортов ставит ряд трудных вопросов учета потерь и разубоживания руды. Если при опережающей разработке богатых руд камерно-столбовыми системами можно достаточно точно определять количество отбитой и добытой руды, то при последующей разработке подработанных запасов системами блокового принудительного обрушения величина потерь и разубоживания должна устанавливаться в зависимости от содержания полезных компонентов в руде в последней дозе выпуска.

При построении единого графика для определения потерь и разубоживания руды, которым учитывались бы различные содержания полезных компонентов в балансовых запасах вкрапленных руд и разубоживающих породах, предлагается в качестве основного критерия принять предельное разубоживание руды при выпуске

$$R_{\text{пр}} = \frac{C - a_{\text{м}}}{C - b},$$

где C и b — содержание условного металла соответственно в балансовых запасах руды и в разубоживающих породах, %; $a_{\text{м}}$ — минимально допустимое содержание условного металла в последней дозе выпуска, %.

Изменение величины потерь и разубоживания вкрапленных руд при одностадийной системе разработки характеризуют кривые, изображенные на рис. 4. Расчеты выполнены по методике проф. Г. М. Малахова [1952]. Основаниями для расчетов послужили данные исследований зависимости фигуры выпуска от высоты при обособленном выпуске из одиночных рудоспусков.

Изменение объемов пересекающихся фигур выпуска определялось по формуле Симпсона

$$V = \int_{x_1}^{x_3} S(x)\,dx = \frac{H}{6}(S_{\text{н}} + 4S_{\text{с}} + S_{\text{к}}),$$

где H — высота фигуры пересечения, *м*; $S_{\text{н}}$, $S_{\text{с}}$, $S_{\text{к}}$ — соответственно начальная, средняя и конечная площади фигур пересечения, $м^2$.

Решая данное уравнение для эллипсоидов выпуска руды, получим следующее выражение, характеризующее зависимость объема боковой фигуры пересечения от величины малой полу-

оси эллипсоида выпуска и расстояния между выпускными отверстиями

$$V_x = \frac{\pi a (b - l)(2b^2 - bl - l^2)}{3b}, \quad м^3$$

или

$$V_x = 0{,}5\,Q - 1{,}09\,l\sqrt{Qh} + 0{,}76\,l^3\sqrt{\frac{h^3}{Q}}, \quad м^3,$$

где Q — объем эллипсоида выпуска, $м^3$; h — высота эллипсоида выпуска, $м$; l — половина расстояния между выпускными воронками, $м$; a и b — соответственно большая и малая полуоси эллипсоида выпуска, $м$.

Для определения допустимого соотношения между уровнем потерь и разубоживания руды при выпуске были выполнены расчеты минимального промышленного содержания полезных компонентов в последней дозе выпуска. Критерием для определения предельного разубоживания руды при выпуске принята наибольшая прибыль в расчете на 1 *т* промышленных запасов руды в блоке. На рис. 4, *в* показано изменение величины прибыли, получаемой от реализации продукции из руды, в зависимости от разубоживания в последней дозе выпуска. Максимальное значение прибыли, получаемой из руды при выпуске из блока, соответствует получению максимальной прибыли на 1 *т* промышленных запасов каждого расчетного блока. При среднем содержании полезных компонентов в балансовых запасах на Заполярном руднике прибыль от реализации металлов имеет максимум при предельном разубоживании в последней дозе выпуска, равном 60%. При более глубоком выпуске руды количество получаемой прибыли уменьшается.

В условиях Талнахского месторождения одностадийная система разработки подработанных запасов вкрапленных руд может быть применена только при осушении месторождения и создании сплошных водонепроницаемых поясов в осадочных породах вокруг отрабатываемых участков.

Основными направлениями совершенствования технологии разработки мощных месторождений многосортных руд в настоящее время можно считать следующие:

1. Создание и внедрение систем разработки, обеспечивающих повышенное извлечение наиболее ценных сортов руды с минимальным разубоживанием.

2. Широкое применение бетонной и твердеющей закладки для осуществления последовательной отработки нескольких

залегающих совместно сортов руды и обеспечения опережающей разработки наиболее ценных из них.

3. Создание новых вариантов систем блокового и этажного принудительного обрушения для последующей разработки мощных рудных месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

Малахов Г. М. Выпуск руды из обрушенных блоков. Металлургиздат, 1952.

Шаблыгин А. И. Промышленные исследования производительных систем разработки на Заполярном руднике Норильского комбината. Зап. ЛГИ, т. X, вып. 1, 1964.

Kiyomi Kondo. New materials in mining. Докл. на V Междунар. горном конгрессе в Москве, 1967.