

## ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ВЫСОКОГОРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**В.И. Нифадьев** – академик НАН КР,

**С.Ф. Усманов** – канд. техн. наук, доцент

---

Приводится обзор высокогорных карьеров мира. Выделяются особенности разработки месторождений полезных ископаемых в условиях высокогорья. Даются основные отличия в технологии разработки высокогорных, нагорных и равнинных карьеров.

*Ключевые слова:* высокогорные карьеры; месторождения полезных ископаемых; борта карьеров; технология открытых горных работ.

Современные потребности общества в минеральном сырье требуют освоения месторождений полезных ископаемых, расположенных в климатически сложных, труднодоступных условиях высокогорья. Для государств, основную территорию которых занимают горные массивы, разработка высокогорных месторождений является экономической необходимостью. К таким государствам, в первую очередь, следует отнести Кыргызстан, Таджикистан, Чили, Грузию, Арме-

нию, Колумбию и ряд других. Вместе с тем, недра высокогорных стран богаты минеральными ресурсами, добыча которых позволяет эффективно развивать собственную экономику.

Технология разработки высокогорных месторождений открытым способом отличается от технологии равнинных карьеров по многим параметрам. По определению российских ученых И.З. Лысенко и С.А. Ильина “нагорный карьер – это карьер, разрабатывающий месторожде-

ние полезных ископаемых в гористой местности. Ведение горных работ в нагорных карьерах осложнено косогорным рельефом поверхности, высотным расположением относительно уровня моря, пониженным парциальным давлением кислорода в атмосфере, повышенной солнечной радиацией и ветровой активностью, туманами, снежными заносами и лавинной опасностью” [1].

Следует разделить понятия “нагорный” и “высокогорный” карьер. Если нагорный карьер в основном характеризуется сложным рельефом, то высокогорный карьер оценивается высотой над уровнем моря. Это определяет ряд особенностей высокогорного карьера, прежде всего климатических.

В России и странах СНГ наиболее представительными высокогорными карьерами являются: Мукуланский, Высотный, Каджаранский на Кавказе; Центральный, Карельский окатыш в Хибинах; Кумтор, Макмал в Кыргызстане.

**Кыргызская Республика.** Для Кыргызстана развитие горнодобывающей отрасли является одним из приоритетных направлений развития экономики. В настоящее время ведутся подготовительные работы для освоения золоторудных месторождений Джеруй, Андаш, Талды-Булак Левобережный и др.



Рис. 1. Карьер Кумтор

Одним из крупнейших высокогорных карьеров является карьер Кумтор (рис. 1). Карьер введен в эксплуатацию в 1997 году. Месторождение Кумтор является пятым в мире месторождением по объемам запасов золота, и одновременно самым высокогорным. Расположен рудник на северо-западном склоне хребта Ак-Шийрак Тянь-Шаньских гор, в северо-восточной части Кыргызской Республики. Карьер и его вспо-

могательные объекты находятся на высоте от 3600 м до 4450 м над уровнем моря. За период с 1 мая 1997 г. в целом было произведено свыше 210 т. золота, среднегодовое производство составило 19,4 т. В 2009 г. планируется добыть 17,4–18,6 т или 560–600 тыс. тройских унций золота. Среднее содержание золота 1,92–2,42 г/т. Срок открытой разработки в настоящее время определен до середины 2013 г.

Золоторудное месторождение Макмал расположено недалеко от села Казарман Тогузторинского района Жалалабатской области. Месторождение имеет республиканский бюджетно-образующий фактор. Комбинат “Макмалзолото” был создан на базе месторождения Макмал, открытого и разведанного в 1969–1977 гг. Карьер сдан в эксплуатацию в октябре 1986 г. и выведен на промышленную мощность по добыче руды в конце 1987 г. За время работы на месторождении добыто свыше 33 т золота. Верхняя высотная отметка карьера составляет 2810 м. В настоящее время работы ведутся подземным способом. Среднее содержание золота в шихтованной массе руды, поступающей на обогатительную фабрику, составляет 2,5 г/т. Добывается около 1,2 т в год. Макмальский золоторудный комбинат (МЗРК) – крупнейший из трех филиалов ОАО “Кыргызалтын”: на руднике Макмал сосредоточено около 75% запасов холдинга. В 2009 г. работы ведутся на высоте 2465 м. В 2008 г. комбинат отработал с производственной прибылью 93,8 млн. сомов. От реализации продукции получили 143,6 млн. сомов. В 2009 г. прибыль от производства ожидается порядка 300 млн. сомов. В настоящее время рудник разрабатывается только подземным способом. При подтверждении ожидаемых запасов в условиях ежегодного планового выпуска золота МЗРК будет обеспечен работой на 12–13 лет. При открытых работах добывалось до 3,5 г золота с каждой тонны. В настоящее время, при подземном способе добычи – 1,5 г золота.

Джеруйское золоторудное месторождение расположено в северо-западной части Кыргызстана на высоте 3600 м. Месторождение открыто в 1969 г. В настоящее время ведется строительство рудника. В соответствии с планом, уровень производства составит порядка 3 т золота в год.

На высоте 3200 м над ур. м. в Кыргызстане с 1985 г. разрабатывается крупное угольное месторождение Кара-Кече. Разведанные запасы этого месторождения превышают 1 млн. т.

**Российская Федерация.** Одним из самых высокогорных месторождений России является Чинейское (Читинская область, Каларский рай-

он), которое расположено на высоте около 2000 м над уровнем моря, содержит медные, железные и палладиевые руды.

К высокогорным карьерам следует отнести Центральный ОАО «Апатит» (рис. 2), отрабатывающий запасы месторождения апатит-нефелиновой руды, необходимой для производства фосфорных удобрений. Карьер введен в эксплуатацию в 1964 г. За весь период существования на карьере добыто более 600 млн. т руды. В настоящее время балансовые запасы месторождения в границах карьера составляют 45 млн. т руды. Месторождение вскрыто комбинированным способом – капитальной штольной и шестью рудопусками. Плановая добыча в 2009 г. – 7,5 млн. т руды.



Рис. 2. Карьер Центральный ОАО «Апатит»

Дальнегорское датолитовое месторождение – единственное разрабатываемое месторождение бора в России [2]. Рельеф поверхности месторождения резко расчлененный, с абсолютными отметками от 180 до 1380 м, относительные превышения изменяются от 200 до 700 м. Район месторождения относится к региону, где возможны землетрясения силой до 6 баллов.

**Чили.** Одним из крупнейших высокогорных карьеров мира является карьер Чукикамата (Чили), разрабатывающий месторождение меди. Месторождение было открыто в 1536 г. Первые горные работы начались в 1560 г. Крупномасштабное освоение месторождения началось с мая 1915 г. Высота карьера над уровнем моря – около 3000 м (рис. 3). Чукикамата – крупнейший рудник компании Codelco, с объемом добычи 965 тыс. т меди (в 2005 г.). Длина карьера свыше 3,5 км, ширина – свыше 1 км.

Представить обзор всех высокогорных месторождений в одном научном исследовании крайне сложно, так как постоянно появляются новые или закрываются отработанные.



Рис. 3. Карьер Чукикамата

В силу специфических условий производительность оборудования и труда на высокогорных карьерах обычно на 10–20% ниже, чем на обычных карьерах. Разработка высокогорных месторождений имеет ряд особенностей, которые значительно усложняют горные работы и ведут к повышению себестоимости полезного ископаемого:

- ↳ сложный рельеф местности затрудняет расположение транспортных коммуникаций, размещение технологических производств;
- ↳ сложный рельеф приводит к ограничению площади горного предприятия и требует концентрации всех технологических участков на небольшой территории;
- ↳ сложные климатические условия предполагают низкие температуры, высокое атмосферное давление, недостаток кислорода, что неблагоприятно сказывается на здоровье персонала и снижении производительности;
- ↳ крайне неоднородная геологическая структура горных пород, наличие тектонических нарушений и структурных поверхностей ослабления снижают устойчивость бортов карьеров и отдельных уступов;
- ↳ большой водопиток в период таяния ледников, наличие подземных вод приводят к необходимости дренажа карьерного поля;
- ↳ большинство высокогорных карьеров расположено в регионах с высокой сейсмической активностью, что требует учета влияния природных землетрясений на устойчивость горнотехнических сооружений;

↪ увеличиваются затраты на энергетическое обеспечение основных технологических процессов, увеличивается использование горного оборудования на дизельном топливе;

↪ возрастает влияние массовых взрывов на устойчивость горнотехнических сооружений;

↪ необратимость совмещения комбинированной геотехнологии с последовательным переходом на подземную разработку.

Научные исследования в области развития технологии разработки высокогорных карьеров ведутся во многих странах. Основная задача всех этих исследований заключается в теоретическом обосновании новых инновационных технологий, приемлемых для условий высокогорья и значительно увеличивающих эффективность разработки. Работы ведущих ученых Кыргызской Республики И.Т. Айтматова, К.Ч. Кожугулова, О.В. Никольской, Б.А. Чукина, Ш.А. Мамбетова и др. [3, 4] тесно связаны с технологией разработки высокогорных карьеров. Результаты их исследований внесли значительный вклад в научное обоснование технологии разработок таких месторождений, как Макмал, Кумтор, Хайдаркан и др. Особенное внимание было уделено вопросам обеспечения устойчивости горных склонов и горнотехнических сооружений на этих карьерах.

Особенности высокогорья оказывают существенное влияние как на технологию разработки месторождений, так и на безопасность ведения горных работ. Важным моментом при разработке высокогорных месторождений является обеспечение устойчивости бортов, уступов и других геотехнических сооружений карьера.

Основными факторами, способствующими развитию деформаций откосов на высокогорных и нагорных карьерах, являются:

↪ наличие поверхностей ослабления – тектонических нарушений, поверхностей скольжения древних оползней, слабых контактов между слоями;

↪ обводненность пород и слабая их дренируемость вследствие таяния ледников;

↪ интенсивная трещиноватость отдельных участков;

↪ наличие прослоев слабых глинистых пород.

Основными причинами развития деформаций породных массивов являются:

↪ несоответствие углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов или несоответствие их высот геологическим условиям;

↪ отсутствие дренажа или недостаточная его эффективность;

↪ неправильное ведение горных работ (буровзрывных, экскаваторных и др.) и очередности отработки участков;

↪ неправильная оценка устойчивости откоса или принятие углов откосов без достаточного обоснования.

Условия таких карьеров накладывают свои особенности на методы оценки устойчивости, выбор геомеханических моделей, выявление первостепенных факторов, влияющих на деформации горных склонов. Большинство высокогорных карьеров имеют сложную геологическую структуру, тектонические нарушения, прослойки ослабленных пород, значительное течение грунтовых и подземных вод.

При этом устойчивость горнотехнических сооружений, а при открытой разработке, прежде всего, устойчивость бортов карьеров и отдельных уступов в значительной степени зависят от их напряженно-деформированного состояния. Неоднородная геологическая структура и сложный рельеф местности значительно влияют на перераспределение энергии массовых взрывов. Динамическое воздействие массовых взрывов на борта карьера значительно увеличивается. Выявляются различные факторы влияния взрывных работ на напряженно-деформированное состояние породного массива.

Расположены высокогорные карьеры, как правило, в активных сейсмических зонах. Следовательно, необходимо учитывать влияние природных землетрясений на устойчивость карьерных выработок и предусматривать в запасе устойчивости вероятное сейсмическое воздействие.

Расположение высокогорных карьеров в условиях вечной мерзлоты с присутствием ледников накладывают определенные требования к учету изменения прочностных свойств горных пород в зависимости от климатического сезона. Летнее таяние ледников увеличивает напор подземных вод, раскрытие трещин, уменьшает сцепление между структурными слоями пород и увеличивает поровое давление на массив.

Таким образом, особенности высокогорья накладывают дополнительные требования к применению новых инновационных методик оценки устойчивости бортов карьеров и горнотехнических сооружений. Основным условием эффективного прогнозирования устойчивости породных склонов является использование различных методик в комплексе. Комплексный под-



ход позволит получить полную и адекватную картину деформирования.

Для равнинных карьеров бывают случаи, когда целесообразнее управлять обрушениями и транспортировать обрушенную массу, чем проводить дорогостоящие противооползневые мероприятия. Для высокогорных карьеров любые обрушения горных склонов ведут к убыткам для предприятия, нарушают график горных работ, создают аварийные ситуации для персонала и оборудования.

В настоящее время существующие нормативные документы и принятые методы оценки устойчивости откосов уступов и бортов карьеров базируются главным образом на положениях механики грунтов и в свое время были разработаны в основном для относительно неглубоких карьеров в условиях массивов, представленных рыхлыми или непрочными осадочными породами. Распространение этих методов на скальные

породы сопровождается излишним запасом в расчетах конструкции бортов и уступов, поскольку при этом не учитываются специфические особенности скальных массивов.

#### *Литература*

1. *Ильин С.А.* Нагорные карьеры мира. Ч. 1. – М.: Информационно-аналитический центр горных наук, 1993.
2. *Макеев А.Ю., Чернышов А.В.* Нагорные карьеры Дальнегорского даолитового месторождения // Горный журнал. – 2002. – №1. – С. 31–34.
3. *Айтматов И.Т.* Геомеханика рудных месторождений Средней Азии. – Фрунзе: Илим, 1987. – 246 с.
4. *Мамбетов Ш.А.* Прогнозирование и контроль напряженно-деформированного состояния массива пород в высокогорных районах. – Фрунзе: Илим, 1988.