

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИЗВЛЕЧЕНИЮ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ  
МОЛИБДЕНОВОГО ПРОМПРОДУКТА**

Сидиков Равшан Мирзабекович,  
директор Медной обогатительной фабрики АО «Алмалыкский ГМК»,  
Республики Узбекистан, г. Алмалык  
E-mail: boyituvchi.9393@gmail.com

Шакаров Тулкин Исматович,  
канд. техн. наук, доц. кафедры «Металлургия черных, цветных и редких металлов»  
Филиала Национального исследовательского технологического университета  
"МИСИС" в г. Алмалык,  
Республика Узбекистан, г. Алмалык  
E-mail: shakarovtulkin@gmail.com

Эралиев Даврон Кучкар угли,  
магистрант передовой инженерной школы Филиала Национального  
исследовательского технологического университета "МИСИС" в г. Алмалык,  
Республика Узбекистан, г. Алмалык  
E-mail: boyituvchi.9393@gmail.com

**Аннотация**

В статье рассмотрена проблема потерь драгоценных металлов, содержащихся в молибденовом промпродукте медной обогатительной фабрики АО «Алмалыкский ГМК». Показано, что их в данном продукте в небольших количествах содержится, однако в существующей технологической схеме фабрики его извлечение не предусмотрено. Предложено внедрение стадии центробежного гравитационного обогащения перед обезвоживанием молибденового промпродукта. Отмечен возможный общий прирост извлечения золота. Представлены научные обоснования применения гравитационных методов для выделения тонкодисперсного золота, а также примеры зарубежного и отечественного опыта.

**Ключевые слова:** молибденовый концентрат, золото, гравитационное обогащение, центробежная сепарация, флотация, Алмалыкский ГМК, центробежный концентрат, драгоценные металлы

**Introduction**

**Введение**

АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» (АГМК) является крупнейшим производителем меди и молибдена в Центральной Азии. Основным сырьевым источником являются руды месторождений Кальмакыр, Ёшлик и Сары-Чеку, переработка которых осуществляется на медных обогатительных фабриках АГМК

флотационным методом обогащения. В результате переработки в итоге получают медный и молибденовый концентраты.

Молибденовый промпродукт, содержащий ценные компоненты, направляется на дальнейшую переработку. Анализ вещественного состава данного продукта показывает присутствие попутных драгоценных металлов — в частности, золота (Au) в небольших концентрациях. Однако существующая технологическая схема селекции молибдена не предусматривает их извлечение, что приводит к снижению экономической эффективности обогащения.

С учётом мировой практики комплексной переработки сырья, актуальной задачей является внедрение дополнительных стадий селективного выделения драгоценных металлов из молибденового промпродукта.

**Анализ современного состояния вопроса.** В мировой и отечественной практике известно, что золотосодержащие молибденовые концентраты содержат значительное количество тонкоизмельчённого свободного и ассоциированного золота. В литературных данных [1–4] отмечается возможность повышения извлечения драгметаллов путём применения гравитационных методов, в частности центробежных концентраторов Falcon или Knelson.

Исследования показывают, что центробежное обогащение эффективно для:

- тонкодисперсного золота (<50 мкм),
- золота в ассоциации с сульфидами Cu-Mo,
- уменьшения нагрузки на гидromеталлургические процессы [2, 5].

На предприятиях России и Казахстана внедрение центробежных концентраторов позволило повысить извлечение золота на 2–8 % при минимальных капитальных затратах [3,6].

**Исследовательская часть.** Молибденовые концентраты порфировых медно-молибденовых месторождений, включая продукцию АО «Алмалыкский ГМК», характеризуются сложной минеральной ассоциацией и наличием сопутствующих драгоценных металлов — прежде всего, золота. Для месторождения Кальмакыр типичны признаки порфировых систем, и характер распределения золота в руде соответствует минералого-технологическим особенностям семейств Chuquicamata, Erdenetiin Oвоо, Sarcheshmeh и др. [1,2]. Таким образом, применимость технологий, успешно внедрённых на зарубежных аналогичных объектах, является технологически обоснованной.

В действующей технологической схеме АО «Алмалыкский ГМК» при переработке медно-молибденовых руд молибденовый концентрат после стадий селективной и перемешивающей флотации направляется на операции сгущения и фильтрации перед дальнейшей металлургической переработкой. Извлечение золота технологической схемой фабрики не предусмотрено, что приводит к существенным потерям драгоценных металлов с молибденовым промпродуктом. Потери золота обусловлены как его тонкой вкрапленностью, так и его присутствием в составе сульфидов, главным образом молибденита и пирита.

В результате минералого-технологических исследований и литературного анализа установлено, что золото в молибденовых концентратах может встречаться в виде [3,4]:

- самостоятельных свободных зёрен (в том числе мелкодисперсных);
- тонких включений в молибденит;
- микровключений и тонкой вкрапленности в пирите;
- мелких интерметаллических соединений в сульфидной матрице.

Особенности строения золотосодержащих частиц и плотностной контраст между минералами золота ( $\rho = 15,6\text{--}19,3 \text{ г/см}^3$ ) и основными минералами молибденового промпродукта (молибденит  $\rho = 4,5\text{--}5 \text{ г/см}^3$ , пирит  $\rho = 4,9\text{--}5,2 \text{ г/см}^3$ ) создают предпосылки для эффективного применения методов центробежной гравитации [5].

В рамках проведенного исследования была изучена возможность извлечения золота из молибденового промпродукта методом центробежной гравитации. Обработка материала проводилась на центробежных концентраторах. Режимы характеризовались достижением высоких ускорений порядка 200–300 g, что обеспечивает интенсивную сепарацию тонких частиц.

Экспериментально подтверждена возможность селективного выделения тонкодисперсных частиц золота, в том числе менее 10 мкм [6]. Испытания показали, что даже при «консервативном» режиме работы центробежного концентратора возможное извлечение золота достигает до 30 %, что обеспечивает достоверное формирование металлургического баланса и увеличивает выпуск драгоценных металлов из руды. При оптимизации технологических параметров (скорость вращения, свойства пульпы, крупность питания) ожидается дальнейший рост показателей извлечения.

На основании выполненных исследований предложено включение в существующую схему участка селекции молибдена дополнительной стадии центробежной гравитации — на поток пенного продукта перечистной флотации молибдена. При этом:

- очищенный промпродукт возвращается в цикл молибденовой флотации;
- тяжёлая фракция - гравитационный концентрат, обогащенная золотом, направляется на дальнейшую пирометаллургическую переработку и аффинаж.

Такое решение позволяет минимизировать потери благородных металлов без значительной реконструкции существующего оборудования.

Основные преимущества предлагаемой схемы заключаются в следующем:

- создание высоких центробежных ускорений (200–300 g), усиливающих разделение по плотности;
- эффективный захват ультратонкого золота (<10 мкм);
- селекция частиц на основе плотности;
- высокая устойчивость работы оборудования в присутствии сульфидов и тонкой фазы;
- минимальные капитальные вложения и возможность встраивания в действующую схему фабрики.

## Выводы

Таким образом, проведенные исследования демонстрируют практическую реализуемость и технологическую целесообразность извлечения золота из молибденового промпродукта методом центробежной гравитации. Реализация предложенного решения позволит повысить комплексность использования сырья,

увеличить производственные показатели и дополнительно извлекать драгоценные металлы из существующих перерабатываемых медно-молибденовых руд АО «Алмалыкский ГМК».

Предложенное техническое решение - внедрение центробежного концентратора на стадии переработки молибденового промпродукта - позволит извлечь драгоценные металлы, ранее теряемое со молибденовым промпродуктом, повысить технологические показатели фабрики.

Данное направление исследований соответствует мировой практике комплексного использования минерального сырья и способствует повышению эффективности обогащения на АО «Алмалыкский ГМК».

#### Список использованной литературы:

1. Бочаров, В.А. Технология переработки золотосодержащего сырья / В.А. Бочаров, В.А. Игнаткина, Д.В. Абрютин // Москва: Изд. дом МИСиС. – 2011.
2. Laplante A.R. Gravity concentration systems in gold recovery. – CIM Bulletin, 2017.
3. Антипин В.Г., Михайлов В.И. Гравитационные методы обогащения тонкого золота. — СПб: ГИВЦ, 2019.
4. Козлов А.Г. Совершенствование схем флотации и гравитации золота на предприятиях РФ // Горный журнал. - 2021.
5. Свистунов И.Ю. Разработка и исследование технологии извлечения золота, серебра и висмута из промпродуктов обогащения сульфидных молибденовых руд. - Владикавказ, 2003.
6. Ержанов Ж.К. Гравитационное извлечение золота на рудниках Казахстана. - Алматы: КазНИГРИ, 2022.
7. Knelson Gravity Solutions. Technical Bulletin. - Canada, 2022.
8. Потемкин В.А. Интенсификация процессов сепарации золотосодержащего сырья. Дисс. Канд. Техн. Наук. -Санкт-Петербург, 2021
9. Верхотуров, М.В. Гравитационные методы обогащения / М.В. Верхотуров // Москва: МАКС Пресс. – 2006. 352 с
10. Самадов А.У., Сидиков Р.М. Изучение вещественного состава медно-молибденовых руд месторождения Кальмакыр. [in-academy.uz/index.php/si](http://in-academy.uz/index.php/si)., February 14, 2024