

## **ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОБЖИГА МОЛИБДЕНОВЫХ КЕКОВ ПОСЛЕ СОДОВОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ**

**Толибов Бехзод Иброхимович**

PhD, доцент кафедры «Металлургия» Навоийского государственного  
горного института, Узбекистан

**Хасанов Абдурашид Салиевич**

д.т.н., профессор, заместитель главного инженера по науке АО «АГМК»,  
Узбекистан

### **АННОТАЦИЯ**

*В статье рассмотрены вопросы теории низкотемпературного обжига кеков молибденового производства для улучшения извлечения молибдена из сульфидсодержащих концентратов. Объектами исследования были взяты огарки промпродуктов молибденового производства, концентраты молибденсодержащие, пыли окислительного обжига молибденовых кеков и огарок после обжига молибденовых кеков. В экспериментах исследованы параметры низкотемпературного обжига и влияние на извлечения основного элемента.*

**Ключевые слова:** *огарок, сульфиды, молибден, кек, содовое выщелачивание, окислительный обжиг, концентрат, десульфуризация, степень окисления.*

### **ABSTRACT**

*The article deals with the theory of low-temperature roasting of cakes of molybdenum production to improve the extraction of molybdenum from sulfide-containing concentrates. The objects of the study were cinders of molybdenum production middlings, molybdenum-containing concentrates, dusts of oxidative firing of molybdenum cakes and cinders after firing molybdenum cakes. In the experiments, the parameters of low-temperature firing and the effect on the extraction of the main element were investigated.*

**Keywords:** *cinder, sulfides, molybdenum, cake, soda leaching, oxidative roasting, concentrate, desulfurization, oxidation state.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Молибден — это тугоплавкий металл, температура плавления которого составляет 2610 °С. Он в основном используется в качестве легирующего элемента в сталях для повышения таких свойств, как высокотемпературная прочность и устойчивость к высокотемпературной коррозии. МоО<sub>3</sub> является ключевым соединением для производства молибденовых продуктов, таких как

металлический молибден, ферромolibден и другие химические соединения на основе молибдена. Триоксид молибдена получают путем окислительного обжига молибденитных ( $\text{MoS}_2$ ) концентратов [1].

В промышленности этот процесс в основном производится в многоподовых печах. Окисление начинается при  $360\text{ }^\circ\text{C}$ , но становится значительным после  $500\text{ }^\circ\text{C}$ . Оксид молибдена образуется, а также улетучивается при температуре от  $500$  до  $700\text{ }^\circ\text{C}$ . После  $700\text{ }^\circ\text{C}$  может образовываться жидкий оксид, и он улетучивается гораздо легче [2]. Температура не должна превышать  $650\text{ }^\circ\text{C}$  из-за высокой летучести триоксида молибдена. При такой температуре обжига и при нормальных концентрациях кислорода и диоксида серы стабильной фазой является только триоксид молибдена. Обжаренные концентраты (кальцинированные) содержат приблизительно  $80\text{-}90\%$   $\text{MoO}_3$ ,  $3\text{-}8\%$   $\text{FeO}$ ,  $3\text{-}10\%$   $\text{SiO}_2$ ,  $0,4\text{-}2\%$   $\text{CuO}$  и  $0,05\text{-}0,15\%$  S. Технический триоксид молибдена должен содержать  $<0,15\text{ мас.}\%$  S. Окислительный обжиг молибденитных концентратов изучался в течение многих лет, и считается, что процесс обжига проходит в 2 этапа, которые приведены (Реакции 1 и 2), и общая реакция равна реакции 3. Реакции 1 и 3 приводят к потере массы, что означает, что после окисления масса уменьшается. Теоретическая потеря массы составляет  $10,04\%$  из-за реакции 3. В реакции 2 масса увеличивается, поэтому можно исследовать систему окисления с помощью гравиметрических систем, таких как TGA [3].



В этом методе  $\text{MoS}_2$  реагирует с  $\text{MoO}_3$  для получения  $\text{MoO}_2$ . Часть  $\text{MoO}_2$  была удалена из системы в качестве продукта. Другая часть  $\text{MoO}_2$  дополнительно окисляется с образованием  $\text{MoO}_3$  в качестве реакции 2 [4], второй части системы. Полученный  $\text{MoO}_3$  отправляется в первую часть системы для повторного взаимодействия с  $\text{MoS}_2$ . Это исследование направлено на получение  $\text{MoO}_3$ , начиная с отечественного концентрата  $\text{MoS}_2$ , побочного продукта медной руды, путем полного окислительного обжига в 2 разных печах. Кроме того, удаление Cu было произведено в обжаренном  $\text{MoO}_3$  кислотным выщелачиванием, а также метод металлотермического восстановления используется для получения ферромolibдена из кальцинированного  $\text{MoO}_3$ . Однако процесс обжига является основной темой данного исследования;

поэтому детали выщелачивания и металлотермического восстановления в этой статье не приводятся [5].

Молибденитный концентрат является основным источником извлечения молибдена. Промышленный способ извлечения молибдена включает обжиг его концентрата, очистку полученного кальцина гидрометаллургическим способом до  $\text{MoO}_3$  и восстановление триоксида водородом до металла. Хотя этот метод является основным способом производства молибдена и уже давно используется в промышленности, исследования по его применению для различных концентратов, а также кинетики и механизма обжига проводятся все еще в дефиците. Однако в результате хорошо известных недостатков пирометаллургического извлечения молибдена, гидрометаллургические процессы становятся все более и более привлекательными. Среди них выщелачивание азотной кислотой, выщелачивание кислородом под давлением, электроокислительная экстракция, хлорат натрия и выщелачивание гипохлорита, и биовыщелачивание более популярны [6].

### **ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

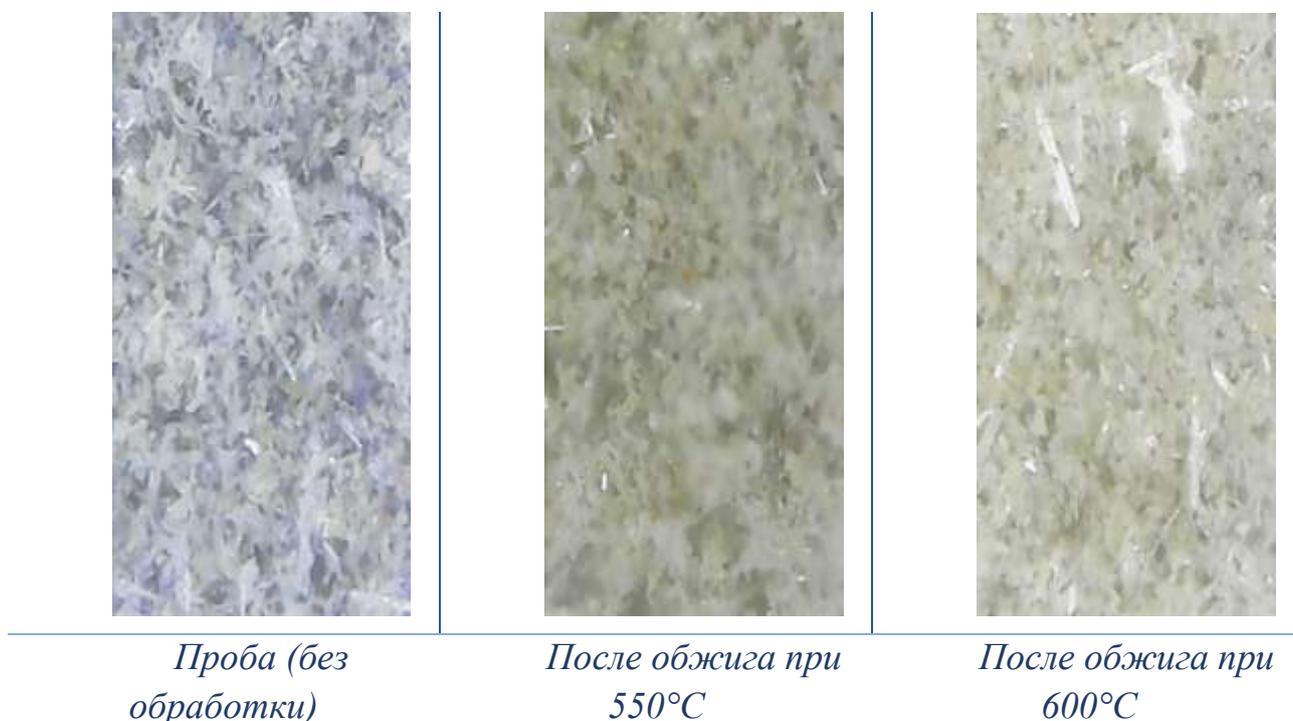
Объектами исследования были взяты огарки промпродуктов молибденового производства, концентраты молибден-содержащие, пыли окислительного обжига молибденовых кеков и огарок после обжига молибденовых кеков. В экспериментах исследованы параметры низкотемпературного обжига и влияние на извлечения основного элемента.

Ниже на рисунке приведены общий вид выбранных материалов, которые отправлены от молибденового производства Научно-производственного объединения Редких металлов и твердых сплавов АО Алмалыкский горно-металлургический комбинат.





**Рис. 1. Общий вид отобранных проб для исследований**



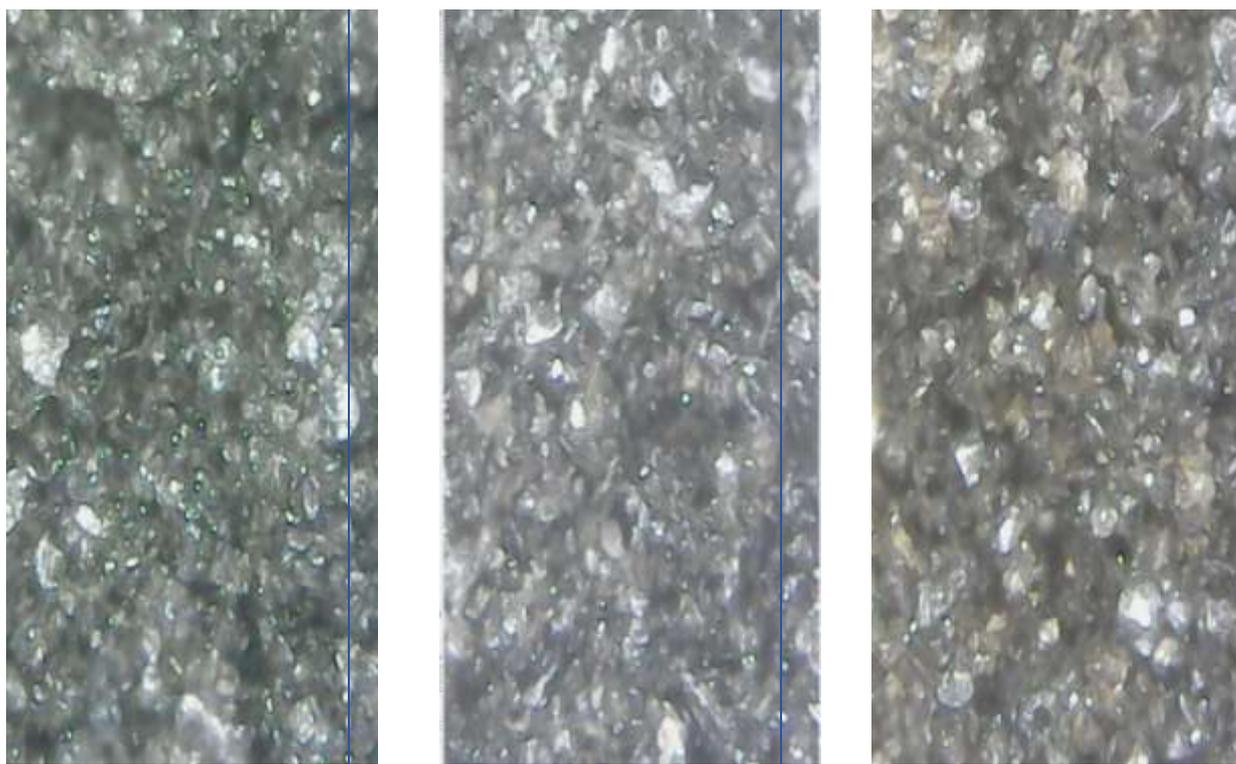
**Рис.2. Снимки цифрового электронного микроскопа для изучения изменений структуры пыли молибденового производства**

После отбора проб на основании теории низкотемпературного обжига проведены окислительный обжиг при температурах от 550 до 600°C. Для изучения изменений в структуре объектов выполнены несколько снимки в цифровом электронном микроскопе до и после проведения экспериментальных исследований.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Из снимков цифрового электронного микроскопа пыли молибденового производства видно, что при окислительном обжиге в разных температурах

окисление сульфидных частиц осуществляются по-разному. При окислительном обжиге в диапазоне температуры до 550°C существенно увеличивается доля частиц, окисленных в отличие от пробы без обработки. Но, при 600°C окисленные частицы намного больше. В снимках это показывается сиянием частиц. Так как, сияющие частицы в макроснимках увеличивается после обработки окислительным обжигом.



*Проба (без  
обработки)*

*После обжига при  
550°C*

*После обжига при  
600°C*

**Рис.2. Снимки цифрового электронного микроскопа для изучения изменений структуры промпродуктов молибденового производства**

В рисунке 2 показаны макроснимки цифрового электронного микроскопа промпродуктов молибденового производства. Из рисунков можно выводить, что структура промпродуктов молибденового производства при окислительном обжиге 550-600°C практически изменяется, т.е. окисленные частицы в макросъемках увеличивается с повышением температуры.

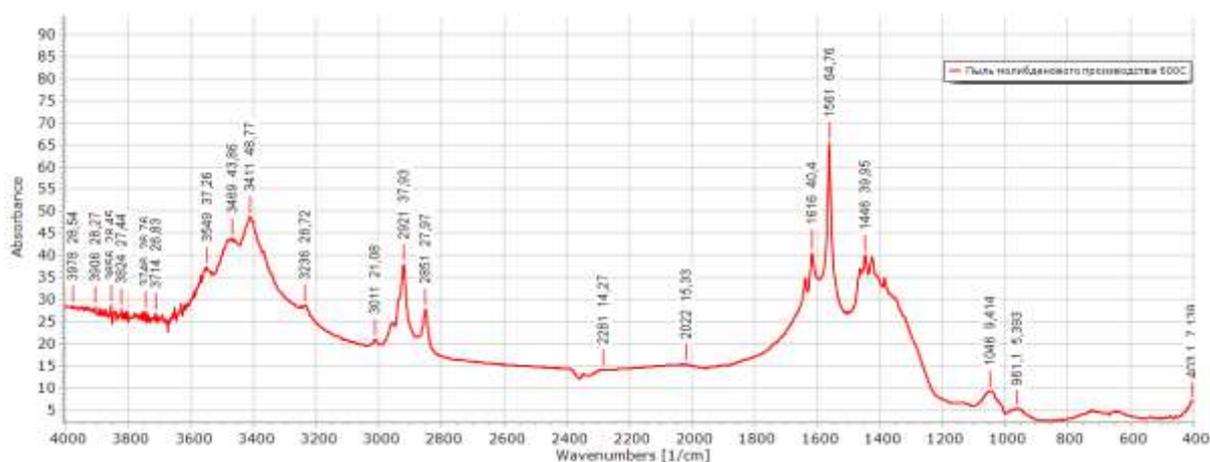


Рис.3. Результаты ИК-спектроскопии пыли молибденового производства (проба после обжига при 600°C)

Молибденовый концентрат, используемый в экспериментах, производится из медной руды и содержит значительное количество меди. Так как поведение Cu при обжиге  $\text{MoS}_2$ -(рис.4)[7,8].

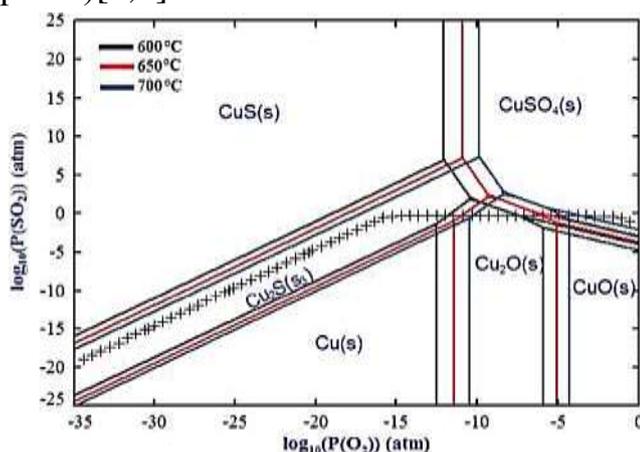


Рис.4. Диаграмма Келлога для системы Cu-O-S

## ВЫВОДЫ

В этом исследовании для получения кальцина, содержащего  $\text{MoO}_3$ , была проведена полная окислительная обжарка с использованием отечественного концентрата  $\text{MoS}_2$ .

В ходе экспериментов в камерной печи было установлено, что оксидный слой, образовавшийся на поверхности, был спечен, и окружающий кислород не попадал в нижние части. Хотя эта ситуация не является заметной, поскольку высота образца в экспериментах с 50 г невелика, в экспериментах с 1000 г по мере увеличения высоты образца стало ясно, что содержание серы в нем не может быть уменьшено ниже 2 % для 50 г; однако в случае увеличения массы

образца до 1000 г вместо однородной структуры, как в эксперименте с 50 г, была получена слоистая структура. Содержание серы в верхнем слое, контактирующем с воздухом, было снижено до 1,23 %, а содержание серы в детали под этим слоем было измерено как 7,18 %. Это показывает что, производству триоксида молибдена коммерческого качества; части образца, которые не реагируют с воздухом, должны находиться в контакте с воздухом. Благодаря вращательному эффекту вращающейся печи материал может однородно контактировать с воздухом. Поэтому вращающаяся печь была предпочтительна для процесса обжига на более поздней стадии операции.

Снижение содержания серы во вращающейся печи исследуется при значениях температуры в диапазоне 550-600°C, в атмосферных условиях, при 100% и 200% стехиометрической продувке воздухом. В процессе обжарки через определенные промежутки времени отбирали пробы и измеряли концентрацию серы. По мере увеличения стехиометрического соотношения воздуха и температуры концентрация серы уменьшалась. Было определено, что наиболее благоприятными условиями являются 200%-ная стехиометрическая продувка воздухом при температуре 600 °C, в результате чего содержание триоксида молибдена составляет 2,29% Cu, 0,66% S со средней эффективностью удаления 97,2%.

## **REFERENCES**

1. Aleksandrov P., Medvedev A., Imideev V., Moskovskikh D. Chemistry and Mechanism of Interaction Between Molybdenite Concentrate and Sodium Chloride When Heated in the Presence of Oxygen. Metallurgical and Materials Transactions, January 2017. DOI: 10.1007/s11663-016-0889-1
2. Behzod Tolibov, & Abdurashid Hasanov. (2021). Research In The Field Of Intensive Oxidative Roasting Of Molybdenum Sludges. The American Journal of Applied Sciences, 3(09), 57–66. <https://doi.org/10.37547/tajas/Volume03Issue09-09>
3. Khasanov A.S., Tolibov B.I. Firing of molybdenum cakes in a new type of kiln for intensive firing // Mining bulletin of Uzbekistan. No. 4 (75), 2018. -P131-135
4. Selçuk Kan & Kağan Benzeşik & Ömür Can Odabaş & Onuralp Yücel. Investigation of Molybdenite Concentrate Roasting in Chamber and Rotary Furnaces. Mining, Metallurgy & Exploration (2021) 38:1597–1608
5. Tolibov B.I., Khasanov A.S., Pirmatov E.A. Factors influencing technological indicators in the production of molybdenum // Universum: технические науки: электронный научный журнал, 2021. 10(91).

6. Khasanov A.S., Tolibov B.I. Investigation of the possibility of the process of oxidation of sulfide materials in a furnace for intensive roasting. Gornyi Zhurnal. No. 9, 2018 -P85-88
7. Hasanov A.S., Tolibov B.I., Pirnazarov F.G. Advantages of low-temperature roasting of molybdenum cakes // International scientific-practical conference on the theme: «International science review of the problems and prospects of modern science and education». - Boston, USA: 2019. - P. 17-18.
8. Tolibov B.I., Khasanov A.S., Pirmatov E.A. Molybdenum containing products processing in conditions of SPA RM&RA AMMC // Proceedings of international conference on Integrated innovative development of Zarafshan region: achievements, challenges and prospects, –Navoi, 27-28 November 2019. –P139-143