

Код МРНТИ 53.37.35

*Т.Ш. Тусупбекова¹, Б.С. Баимбетов¹, Л.М. Каримова², С.В. Мамяченков³

¹Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),

²ТОО «КазГидроМедь» (г. Караганда, Казахстан),

³ФГАОУ «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

(г. Екатеринбург, Россия)

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПЕРЕРАБОТКИ МОЛИБДЕНОВЫХ РУД И КОНЦЕНТРАТОВ

Аннотация. Целью данного обзора является анализ и структурирование существующих методов переработки молибденосодержащих руд, выявление их достоинств и недостатков. Проведена оценка современного состояния переработки молибденосодержащих руд в Казахстане и его место в мировом рынке. В настоящее время молибденовые руды разрабатываются только в ТОО «KAZ Minerals Bozshakol». Отмечено, что основными производителями молибдена являются Китай, США, Чили, Перу, Канада и Мексика, на долю которых приходится более 90% мирового производства. Проанализированы способы переработки молибденовых руд и концентратов. Рассмотрены основные методы переработки – пирометаллургия (окислительный обжиг) и гидрометаллургия. Одним из вариантов переработки молибденосодержащих продуктов может быть обжиг промпродукта с предварительной подшиховкой карбоната натрия и последующая гидрометаллургическая переработка.

Ключевые слова: молибденовый промпродукт, обжиг, выщелачивание, извлечение, раствор.

Молибден кендері мен концентраттарын өңдеу тәсілдерін талдау

Аңдатпа. Бұл шолудың мақсаты құрамында молибден бар кендерді өңдеудің қолданыстағы әдістерін талдау және құрылымдау, олардың артықшылықтары мен кемшіліктерін анықтау. Қазақстанда құрамында молибден бар кендерді өңдеудің қазіргі жай-күйіне және оның әлемдік нарықтағы орнына бағалау жүргізілді. Қазіргі уақытта құрамында молибдені бар кендерін тек «KAZ Minerals Bozshakol» ЖШС-де өңдеуде. Құрамында молибден бар кендердің негізгі өндірушілері Қытай, АҚШ, Чили, Перу, Канада және Мексика, олар әлемдік өндірістің 90%-дан астамын құрайды. Молибден кендері мен концентраттарын өңдеу әдістері талданды. Өңдеудің негізгі әдістері – пирометаллургия (тотығу күйдіру) және гидрометаллургия қарастырылды. Құрамында молибден бар өнімдерді қайта өңдеудің бір нұсқасы: натрий карбонатын қосып, алдын-ала күйдіру және алынған ерітіндіні гидрометаллургиялық тәсілмен өңдеу.

Түйінді сөздер: молибден өнеркәсібі өнімі, күйдіру, шаймалау, экстракция, ерітінді.

Analysis of methods of processing molybdenum ores and concentrates

Abstract. The purpose of this review is to analyse and structure the existing methods of processing molybdenum-containing ores, identifying their advantages and disadvantages. The current state of processing of molybdenum-containing ores in Kazakhstan and its place in the world market has been assessed. Currently, molybdenum ores are developed only in LLP «KAZ Minerals Bozshakol». It is noted that the main producers of molybdenum are China, USA, Chile, Peru, Canada and Mexico, which account for more than 90% of world production. Methods of processing of molybdenum ores and concentrates are analyzed. The main processing methods considered are pyrometallurgy (oxidative roasting) and hydrometallurgy. One of the variants of processing of molybdenum-containing products can be roasting of industrial products with preliminary charging of sodium carbonate and subsequent hydrometallurgical processing.

Key words: molybdenum industrial product, roasting, leaching, extraction, solution.

Введение

Область применения молибдена достаточно обширна, более 80% используется в черной металлургии для легирования сталей. Из таких сталей возможно получение нержавеющей сталей, суперсплавов, а также молибден используется при изготовлении оборудования для обрабатывающей промышленности, таких как прокатные станы и т. д. Около 10% чистого металлического молибдена используется в химической промышленности, 6% используется для получения чернового металлического молибдена и 4% в других отраслях [1].

Лидирующую позицию по добыче и производству молибдена занимает Китай, США, Чили, Перу, Канада и Мексика, на долю которых приходится более 90% мирового производства. Данные о запасах и объемах его производства в ведущих странах представлены в таблице 1.

Казахстан входит в число мировых лидеров по объему разведанных запасов молибдена. На территории страны обнаружено порядка 20 месторождений, где молибден встречается в сочетании с другими металлами, такими как вольфрам, медь и уран.

Таблица 1

Запасы молибдена и его объемы производства

Кесте 1

Молибден қорлары және оның өндіріс көлемі

Table 1

Molybdenum reserves and production volumes

Страна	Запасы, категория	Запасы, тыс. т	Производство, тыс. т	Доля в мировом производстве, %
КНР	Подтвержденные запасы	8325	83,6	38
Чили	Подтвержденные + вероятные запасы	3445	52	24
США	Подтвержденные + вероятные запасы	3419	31,6	14
Перу	Подтвержденные + вероятные запасы	2670	20	9

Исторически в Казахстане основными продуктами переработки молибденовых руд были концентраты молибдена, промпродукты и различные соли на его основе. При этом производство металлического молибдена осуществлялось в СССР на Заводе тугоплавких и жаропрочных металлов, расположенном в городе Чирчик (Узбекистан). На этот завод поставлялись молибденовые продукты, полученные на горно-металлургических предприятиях по всему Союзу [2].

В настоящее время в Казахстане установленные запасы молибдена определяются в объеме 1,1 млн т. и занимают 4-е место в мире и первое среди стран Азии. Основные месторождения – Коктенколь Южный, Шалгия, Жанет, Батыстау, Верхнее Кайракты, Караоба, Северный Катпар, Акшатау и др. Комплексные медно-молибденовые месторождения – Актогай, Айдарлы, Бозшаколь, Каратас IV, Коксай, Коунрад, Борлы, Саяк, Шатырколь, Жайсан, Шорское. Также в Казахстане встречаются молибден-уран-ванадиевые месторождения – Каратау и Таласа. Большинство этих месторождений на данный момент не эксплуатируются ввиду низкой обогатимости и сложностью получения кондиционных товарных концентратов или руды перерабатываются с получением в основном меди или вольфрама. В настоящее время молибденовые руды разрабатываются только в ТОО «KAZ Minerals Bozshakol». Получаемый концентрат молибдена отгружается на экспорт [3]. В связи этим требуется разработка альтернативных и экономически эффективных методов переработки, способных обеспечить полное использование сырья, в том числе некондиционного.

Цель данного обзора – анализ и структурирование существующих методов переработки молибденосодержащих руд, выявление их достоинств и недостатков.

Получение молибденового промпродукта или концентрата

Переработка молибденовых руд осуществляется с применением различных схем, зависящих от необходимости извлечения попутных полезных компонентов. На выбор оптимальной схемы переработки также влияет вкрапленность минералов и наличие вредных примесей. Особенное влияние на дальнейшую переработку молибденосодержащей продукции оказывает наличие таких примесей как фосфор, мышьяк, олово, графит и тальк [3].

Сульфидные молибденовые руды перерабатываются флотационным методом обогащения. После получения коллективного концентрата, этот концентрат подвергают селекции с многократными перечистными операциями и доизмельчению. В ряде случаев при наличии в руде сопутствующих полезных компонентов перерабатывают промпродукты перечистных операций. Реагентный режим в данном случае простой ввиду высокой флотационной активности сульфидных молибденовых руд [3].

При флотации медно-молибденовых руд основным продуктом процесса является коллективный концентрат, содержащий как медь, так и молибден. Далее полученный коллективный концентрат подвергается селекции с применением сернистого натрия и температурной паровой обработки, флотация ведется в замкнутом контуре для исклю-

чения выделения различных вредных газов. В некоторых случаях получение кондиционного товарного молибденового концентрата невозможно, в этом случае молибденовые промпродукты перерабатываются гидрометаллургическим способом.

Переработка вольфрам-молибденовых руд осуществляется с применением гравитационно-флотационных или флотационных методов обогащения, в зависимости от требуемых задач и фазового состояния полезных компонентов руды.

Переработка молибден-ураниловых руд в основном осуществляется гидрометаллургическими методами.

Таким образом, вне зависимости от исходного молибденосодержащего сырья получают молибденовые концентраты, которые, в зависимости от состава, перерабатываются различными методами. Основная доля переработки направлена на получение триоксида молибдена, который является сырьем для производства непосредственно металлического молибдена и карбида молибдена [4].

Способы переработки молибденитовых концентратов

Концентраты и промпродукты молибденита служат основным сырьем для производства ферромолибдена и разнообразных химических соединений. К числу наиболее значимых продуктов относятся трехокись молибдена, парамолибдат аммония, молибдат натрия и молибдат кальция.

Основным способом переработки молибденового сырья является окислительный обжиг. В процессе обжига сульфиды молибдена разлагаются, образуя технический оксид молибдена (огарок). Этот промежуточный продукт далее используется в химической промышленности для синтеза молибденовых солей или в металлургии для получения ферромолибдена и триоксида молибдена [5].

Еще одним методом переработки молибденовых продуктов является аммиачно-сульфатное выщелачивание, которое проводится после предварительного окислительного обжига. Данный метод основан на способности триоксида молибдена растворяться в аммиачных растворах. Эффективность извлечения молибдена в раствор может достигать 95%, однако наличие примесей и непрореагировавших компонентов в огарке снижает этот показатель. Для повышения степени извлечения применяются дополнительные операции, такие как промывка (для предотвращения перехода примесей в раствор) и обработка кеков выщелачивания (для доизвлечения молибдена). В последнее время для интенсификации процесса и обеспечения его непрерывности перспективным стало использование выщелачивания в кипящем слое. Полученные концентрированные растворы далее направляются на очистку и выделение целевых продуктов, таких как пара- или тетрамолибдат аммония, молибденовая кислота или молибдат кальция. На рис. 1 и 2 представлены основные способы переработки молибденового концентрата [6–9].

Одним из методов переработки некондиционных молибденовых концентратов и промпродуктов является также выщелачивание огарков окислительного обжига растворами карбоната натрия. После кек направляется на водное выщелачивание, далее полученный раствор направ-



Рис. 1. Варианты переработки молибденового концентрата пирометаллургическим способом.

Сурет 1. Молибден концентратын

пирометаллургиялық тәсілмен өңдеу тәсілі.

Figure 1. Method of molybdenum concentrate processing by pyrometallurgical method.



Рис. 2. Варианты переработки молибденового концентрата гидрометаллургическим способом.

Сурет 2. Молибден концентратын

гидрометаллургиялық тәсілмен өңдеу тәсілі.

Figure 2. Method of molybdenum concentrate processing by hydrometallurgical method.

ляется на осаждение хлористым кальцием для получения молибдата кальция [10].

Немаловажным также является извлечение сопутствующих ценных компонентов, таких как рений, медь и т. д. Поэтому при наличии в сырье дополнительных полезных компонентов и для их комплексного и более полного извлечения применяется автоклавное выщелачивание огарков окислительного обжига аммиачно-сульфатными растворами. Данная технология позволяет извлекать также имеющуюся в составе медь и другие ценные компоненты в виде предварительного получения различных осадков в первой стадии за счет пропускания сернистых газов окислительного обжига через растворы выщелачивания, снижая тем самым потери ценных компонентов с газовой фазой.

Одним из альтернативных методов является автоклавное или прямое выщелачивание молибденосодержащих продуктов азотной, серной кислотами или их смесями. Например, для получения парамолибдата аммония известен метод автоклавного окислительного разложения молибденового продукта с последующим поэтапным выщелачиванием молибдена. Впоследствии возможно полученный продукт направлять на получение триоксида молибдена. В целом применение автоклавного кислотного разложения молибденосодержащих продуктов затруднено сложностью

аппаратурного оформления процесса, невозможностью получения отвальных кеков в одну стадию и необходимостью утилизации продуктов выщелачивания.

Существуют также различные нестандартные методы извлечения молибденовых промпродуктов и концентратов, таких как применение различных окислителей (кислород, перманганат калия, гипохлорит калия, хлораты калия или натрия и т. д.), применение электрохимического выщелачивания, биогидрометаллургия и др., однако применение этих методов усложняется низкой скоростью протекания процесса и значительным усложнением технологической схемы переработки [11–12].

В целом большинство вышеперечисленных методов имеет ряд недостатков, таких как значительные потери ценных компонентов с газовой фазой при окислительном обжиге, потери металла с кеками выщелачивания, что обуславливает необходимость доизвлечения молибдена, высокая энергоемкость процессов и наличие вредных выбросов в атмосферу.

По сравнению с аммиачно-сульфатным или кислотным выщелачиванием, обжиг с содой обладает следующими отличительными особенностями:

- *Извлекаемость и чистота продукта.* Лабораторные исследования, проведенные на медно-молибденовой руде Шатыркуль-Жайсанского кластера, показали извлекаемость молибдена до 97,73% при использовании схемы обжига с содой, что сопоставимо с показателями альтернативных методов при оптимизации параметров.

- *Экологическая составляющая.* Преобразование SO_2 в сульфат натрия снижает выбросы вредных газов, что является существенным преимуществом перед методами, где сернистый газ теряется в атмосферу. Однако для практической реализации требуется комплексная система улавливания и нейтрализации газов.

- *Энергоэффективность.* Использование обжига с содой позволяет работать при умеренных температурных режимах по сравнению с методами, требующими более высоких температур, что потенциально снижает энергозатраты. Тем не менее, интеграция данного этапа в общую технологическую цепочку требует оптимизации теплообмена и равномерного распределения температуры в реакционной зоне.

Перспективы развития и направления дальнейших исследований. Ключевые направления для совершенствования технологии обжига с содой и выщелачивания включают:

- *Оптимизация технологических параметров.* Проведение комплексного экспериментального и моделирующего исследования для определения оптимальных соотношений реагентов, температурных режимов и времени реакции с целью максимизации извлекаемости и минимизации образования побочных продуктов.

- *Разработка интегрированных систем улавливания и очистки газов.* Внедрение современных методов газоочистки (например, использование адсорбционных и каталитических установок) для обеспечения экологической безопасности процесса.

- *Микро- и нанотехнологический контроль.* Применение современных аналитических и диагностических методов (мониторинг, спектроскопия) для точного контроля

химического состава обожженной массы и оперативного регулирования технологических параметров.

• *Экономическая оценка и масштабирование.* Проведение детального экономического анализа и пилотных испытаний для определения перспектив коммерциализации технологии, особенно в условиях переработки некондиционного сырья и отходов.

Заключение

Рассматривая все вышеперечисленные методы, следует отметить, что они направлены на переработку кондиционных молибденовых концентратов или молибденсодержащих промпродуктов, однако учитывая постоянное истощение природных ресурсов, возникает необходимость в вовлечении в переработку различного некондиционного сырья и отходов, а также разработке эффективных технологий их переработки. Разработка рационального способа извлечения молибдена из бедного сырья позволила бы существенно расширить сырьевую базу, увеличить извлечение молибдена в конечные продукты, сократив тем самым его потери.

Одним из перспективных методов переработки молибденсодержащих продуктов является обжиг промпродукта с предварительной добавкой карбоната натрия и последующая гидрометаллургическая обработка [10]. Этот способ имеет существенное преимущество – отсутствие вредных выбросов, так как сернистый газ превращается в сульфат натрия и не выделяется в газовую фазу, а молибден остается в огарке в форме молибдата натрия.

В рамках докторской диссертации были проведены лабораторные эксперименты на медно-молибденовой руде Шатыркуль-Жайсанского кластера. Исследования включали обжиг промпродукта с карбонатом натрия, водное выщелачивание огарка и фильтрацию пульпы. В результате удалось достичь извлечения молибдена в раствор на уровне 97,73%.

Проведенный литературный анализ позволяет сделать вывод о том, что расширение знаний в этом вопросе позволит осуществлять более эффективное управление процессами переработки молибденового сырья и повысить его эффективность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алешин Д.С., Халезов Б.Д., Крашенинин А.Г. Сырьевая база молибдена // *Известия вузов. Горный журнал.* 2019. № 7. С. 113–121 (на русском языке)
2. Молибден в современной металлургии: минерально-сырьевая база и производство молибденовых концентратов / Г.В. Галевский [и др.] // *Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук.* 2020. С. 32–46 (на русском языке)
3. Гаосонг Йи, Элой Мача, Джефф Ван Дайк, Рафаэль Эд Мача, Тим Маккей, Майкл Л. Фри. (Сентябрь 2021). Недавний прогресс в исследованиях флотации молибденита: обзор // *Достижения в области коллоидоведения и взаимодействия.* <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000186862100107X?via%3Dihub> (на английском языке)
4. Аналитический обзор способов переработки молибденовых концентратов и промпродуктов / А.Н. Шодиев [и др.] // *Universum: технические науки.* 2022. № 5 (98). С. 31–34 (на русском языке)
5. Гидрометаллургическая переработка молибденового фарша из руд Шатыркуль-Жайсанского кластера / Л. Каримова [и др.] // *Горно-металлургический журнал, раздел В «Металлургия».* 2024. № 1. С. 71–83 (на английском языке)
6. Анализ и способы переработки молибденсодержащего сырья / А.Н. Шодиев [и др.] // *Universum: технические науки.* 2022. № 5 (98). С. 35–38 (на русском языке)
7. Алешин Д.С. Извлечение молибдена натрий-карбонатными растворами из одного из Южно-Шамейских месторождений / Алешин Д.С. [и др.] // *Металлург.* 2023. № 67 (5–6). С. 879–885 (на английском языке)
8. Имидиев В.А., Бербенов А.О., Александров П.В. Комбинированный способ переработки молибденитовых концентратов на основе обжига с карбонатом натрия // *Труды Кольского научного центра РАН. Химия и материаловедение.* 2021. № 2 (5). С. 111–113 (на русском языке)
9. Соколова Ю.В. Исследование обжига молибденового концентрата с известью в воздушной атмосфере // *Химия и хим. технология.* 2022. № 2. С. 120–126 (на русском языке)
10. Алешин Д.С. Термодинамическое моделирование обжига сульфидного молибденового концентрата с гидроксидом кальция / Д.С. Алешин [и др.] // *iPOLYTEX Journal.* 2021. Т. 25. № 6. С. 773–781 (на русском языке)
11. Новая технология самонагревающегося обжига молибденового концентрата / Лянь юн Ван [и др.] // *Материалы и техника для редких металлов.* 2015. Т. 44. Вып. 11. С. 2618–2622 (на английском языке)
12. Особенности окисления при обжиге ReS_2 и MoS_2 в порошкообразном ренийсодержащем низкосортном молибденовом концентрате / Фань Сяохуэй [и др.] // *Труды Общества цветных металлов Китая.* 2019. Т. 29. Вып. 4. С. 840–848 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Алешин Д.С., Халезов Б.Д., Крашенинин А.Г. Молибденнің шикізат базасы // *Жоғары оқу орындарының жаңалықтары // Тау журналы.* 2019. № 7. Б. 113–121 (орыс тілінде)

2. Қазіргі металлургиядағы молибден: минералды-шикізат базасы және молибден концентраттарын өндіру / Г.В. Галевский [және т. б.] // Ресей жаратылыстану ғылымдары Академиясының тау-кен металлургия секцияларының хабаршысы. 2020. Б. 32–46 (орыс тілінде)
3. Гаосонг Йи, Элой Мача, Джефф Ван Дайк, Рафаэль Эд Мача, Тим Маккей, Майкл Л.Фри. (2021 жылдың қыркүйек айы). Молибденит флотациясын зерттеудегі соңғы прогресс: шолу. Коллоидтану және өзара әрекеттесу саласындағы жетістіктер. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000186862100107X?via%3Dihub> (ағылшын тілінде)
4. Молибден концентраттары мен өнеркәсіптік өнімдерді өңдеу әдістеріне аналитикалық шолу / А.Н. Шодиев [және т. б.] // *Universum: техникалық ғылымдар*. 2022. № 5 (98). Б. 31–34 (орыс тілінде)
5. Шатыркөл-Жайсан кластерінің кендерінен тартылған молибденді гидрometаллургиялық өңдеу / Л. Каримова [және т. б.] // *Тау-кен металлургиялық журналы, «Металлургия» бөлімі*. 2024. № 1. Б. 71–83 (ағылшын тілінде)
6. Құрамында молибден бар шикізатты талдау және өңдеу әдістері / А.Н. Шодиев [және т. б.] // *Universum: техникалық ғылымдар*. 2022. № 5 (98). Б. 35–38 (орыс тілінде)
7. Оңтүстік Шамей кен орындарының бірінен натрий-карбонатты ерітінділермен молибден алу / Д.С. Алешин [және т. б.] // *Металлург*. 2023. № 67 (5–6). Б. 879–885 (ағылшын тілінде)
8. Иמידиев В.А., Бербенов А.О., Александров П.В. Натрий карбонатымен күйдіру негізінде молибденит концентраттарын өңдеудің аралас әдісі // *РФА Кола ғылыми орталығының еңбектері. Химия және материалтану*. 2021. № 2 (5). Б. 111–113 (орыс тілінде)
9. Соколова Ю.В. Молибден концентратын ауа атмосферасында әкпен күйдіруді зерттеу // *Химия және химиялық технология*. 2022. № 2. Б. 120–126 (орыс тілінде)
10. Сульфидті молибден концентратын кальций гидроксидімен күйдіруді термодинамикалық модельдеу / Д.С. Алешин [және т. б.] // *iPOLYTEX Journal*. 2021. Т. 25. № 6. Б. 773–781 (орыс тілінде)
11. Молибден концентратын өздігінен қыздырудың жаңа технологиясы / Лян Юн Ван [және т. б.] // *Сирек металдарға арналған материалдар мен техника*. 2015. Т. 44. Шығ. 11. Б. 2618–2622 (ағылшын тілінде)
12. ReS_2 және MoS_2 ұнтақты рений бар төмен сортты Молибден концентратында күйдіру кезіндегі тотығу ерекшеліктері / Фан Сяохуэй [және т. б.] // *Қытай түсті металдар қоғамының еңбектері*. 2019. Т. 29. Шығ. 4. Б. 840–848 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Aleshin D.S., Khalezov B.D., Krashenin A.G. Syr'evaya baza molibdena [Molybdenum raw material base], *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal [News from universities. Mining magazine]*. 2019. No.7. 113–121 pp. (in Russian)
2. Molibden v sovremennoi metallurgii: mineral'no-syr'evaya baza i proizvodstvo molibdenovykh kontsentratov [Molybdenum in modern metallurgy: mineral resource base and production of molybdenum concentrates], G.V. Galevskii [et al.], *Vestnik gorno-metallurgicheskii seksii Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk [Bulletin of the mining and metallurgical sections of the Russian Academy of Natural Sciences]*. 2020. 32–46 pp. (in Russian)
3. Gaosong Yi, Eloy Macha, Jeff Van Dyke, Rafael Ed Macha, Tim McKay, Michael L. Free. (September 2021). Recent Progress on Research of Molybdenite Flotation: A Review. *Advances in Colloid and Interface Science*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000186862100107X?via%3Dihub> (in English)
4. Analiticheskii obzor sposobov pererabotki molibdenovykh kontsentratov i promproduktov [Analytical review of methods for processing molybdenum concentrates and industrial products], A.N. Shodiev [et al.], *Universum: tekhnicheskie nauki [Universum: technical sciences]*. 2022. No. 5 (98). 31–34 pp. (in Russian)
5. Hydrometallurgical processing of molybdenum middlings from Shatyrkul-Zhaysan cluster ore / L. Karimova [et al.] // *Journal of Mining and Metallurgy Section B Metallurgy*. 2024. No. 1. 71–83 pp. (in English)
6. Analiz i sposoby pererabotki molibdensoderzhashchego syr'ya [Analysis and methods of processing molybdenum-containing raw materials], A.N. Shodiev [et al.], *Universum: tekhnicheskie nauki [Universum: technical sciences]*. 2022. No. 5 (98). 35–38 pp. (in Russian)
7. Recovery of Molybdenum with Sodium-Carbonate Solutions from Ore of the Yuzhno-Shameisky Deposit / D.S. Aleshin [et al.] // *Metallurgist*. 2023. No. 67 (5–6). 879–885 pp. (in English)
8. Imidiev V.A., Berbenedev A.O., Aleksandrov P.V. Kombinirovannyi sposob pererabotki molibdenitovykh kontsentratov na osnove obzhiga s karbonatom natriya [Combined method for processing molybdenite

- concentrates based on roasting with sodium carbonate], *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. Khimiya i materialovedenie [Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Chemistry and materials science]*. 2021. No. 2 (5). 111–113 pp. (in Russian)
9. Sokolova Yu.V. *Issledovanie obzhiga molibdenovogo kotsentrata s izvest'yu v vozduшной atmosphere [Study of roasting molybdenum concentrate with lime in an air atmosphere]*, *Khimiya i khim. tekhnologiya [Chemistry and chem. technology]*. 2022. No. 2. 120–126 pp. (in Russian)
 10. *Thermodynamic modeling of firing of molybdenum sulfide concentrate with calcium hydroxide [Thermodynamic modeling of roasting molybdenum sulfide concentrate with calcium hydroxide]*, D.S. Aleshin [et al.], *Zhurnal iPOLYTEX [iPOLYTEX Journal]*. 2021. V. 25. No. 6. 773–781 pp. (in Russian)
 11. *A novel self-heated roasting technology for molybdenum concentrate / Lianyong Wang [and others] // Rare metal materials and engineering*. 2015. V. 44. Issue 11. 2618–2622 pp. (in English)
 12. *Roasting oxidation behaviors of ReS₂ and MoS₂ in powdery rhenium-bearing, low-grade molybdenum concentrate / Fan Xiao-hui [et al.] // Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 2019. V. 29. Issue 4. 840–848 pp. (in English)

Информация об авторах:

Тусупбекова Т.Ш., докторант кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), *tansholpan_87.09@mail.ru*; <https://orcid.org/0000-0003-2940-8715>

Баимбетов Б.С., к.т.н., доцент, профессор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), *b.baimbetov@satbayev.university*; <https://orcid.org/0000-0003-4442-5038>

Каримова Л.М., д.т.н., доцент, начальник лаборатории металлургии ТОО «КазГидроМедь» (г. Караганда, Казахстан), *l.karimova@kazgidromed.kz*; <https://orcid.org/0000-0001-6205-6585>

Мамяченков С.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой металлургии цветных металлов ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург, Россия), *s.v.mamiachenkov@urfu.ru*; <https://orcid.org/0000-0002-4458-3792>

Авторлар туралы мәліметтер:

Түсіпбекова Т.Ш., «Қ.И. Сәтбаев атындағы «Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КЕАҚ «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының докторанты (Алматы қ., Қазақстан)

Баимбетов Б.С., техника ғылымдарының кандидаты, Қ.И. Сәтбаев атындағы «Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КЕАҚ «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Каримова Л.М., техника ғылымдарының докторы, доцент, ТОО «КазГидроМедь» металлургия лабораториясының бастығы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Мамяченков С.В., техника ғылымдарының докторы, профессор, УрФУ түсті металдар металлургиясы кафедрасының меңгерушісі (Екатеринбург қ., Ресей)

Information about the authors:

Tussupbekova T.Sh., doctoral student of the Department of Metallurgy and Mineral Processing at Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Baimbetov B.S., Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of «Metallurgy and Mineral Processing», Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

Karimova L.M., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Metallurgy Laboratory of Kazhydromed LLP (Karaganda, Kazakhstan)

Mamyachenkov S.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Metallurgy of Non-ferrous Metals at UrFU (Yekaterinburg, Russia)