

Перспективные технологии извлечения рения

Научный руководитель – Богуславский Михаил Александрович

Борисов Александр Александрович

Аспирант

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Геологический факультет, Кафедра геологии и геохимии полезных ископаемых, Москва, Россия

E-mail: sa-bo@bk.ru

Рений является исключительно редким элементом, его содержание в земной коре составляет $7 \cdot 10^{-8}$. Как и другие рассеянные компоненты он не образует самостоятельных месторождений, а добывается попутно из молибденовых и медных сульфидных руд. Рений обладает высокой пластичностью, а температура его плавления составляет 3185°C , что делает его незаменимым компонентом для производства суперсплавов в космической и авиационной отраслях. Значительная часть мировой добычи рения (чуть более 50 %) приходится на чилийскую компанию Molymet.

Существующие технологии извлечения рения основаны на процессе окислительного обжига молибденитовых концентратов, при которых рений уносится с газовым потоком в виде оксида Re_2O_7 . В процессе обжига концентрата MoS_2 выделяется диоксид серы SO_2 , который загрязняет атмосферный воздух. При водной очистке отходящих газов оксид рения растворяется, переходя в форму неочищенной рениевой кислоты HReO_4 . Этот раствор, который также содержит некоторое количество серной кислоты и других примесей, обрабатывают для подготовки к извлечению рения путем экстракции растворителем или ионного обмена в твердом слое. При выщелачивании обожженного концентрата в растворах содержится большое количество вредных примесей, очистка от которых приводит к дополнительным потерям рения, извлечение которого в товарные продукты в итоге не превышает 40 %. При любом способе рений десорбируется и кристаллизуется в виде перрената аммония NH_4ReO_4 .

Существующие технологические схемы извлечения рения являются многостадийными, сложными в осуществлении и неблагоприятными в экологическом отношении, поэтому разработка новых рациональных технологий переработки рения очень актуальна. Рассмотрим наиболее перспективные исследования по извлечению рения последних лет.

Технология переработки ренийсодержащих молибденитовых концентратов, включающая окислительный обжиг и выщелачивание огарков раствором карбоната кальция предложена Ф.Г. Ситдиковым в 2017 г. [2]. Ограничение температуры 600°C позволяет перевести рений в газовую фазу, исключив возгонку молибдена. Конденсация оксидов рения на коксовом фильтре обеспечивает получение самостоятельного ренийсодержащего продукта.

Перспективным для получения рения являются *электрохимический метод извлечения*, сущность которого заключается в совмещении двух процессов: получения окислителя в результате электролиза растворов поваренной соли и окисления сульфидного молибдена продуктами электролиза (Cl_2 , HClO , HClO_3 , O_2) в одном аппарате-реакторе-электролизере при перемешивании [4]. Недостатками данного способа является большой расход электроэнергии и отсутствие надежных и простых в использовании аппаратов электролизеров.

Одна из наиболее новых технологий – *извлечение рения из концентратов с помощью глубоких эвтектических растворителей* (DES – deep eutectic solvents), предложенная Иранскими учеными в 2023 г. [5]. Сущность технологии заключается в выщелачивании

с помощью DES неочищенной рениевой кислоты, полученной при обжиге молибденового концентрата. Эвтектические растворители состоят из органических материалов: каприновой кислоты и солей аммония, разлагающихся без вреда для окружающей среды. По предложенной технологии извлечение рения достигает 90 %, однако этот способ не является полностью экологичным, так как при обжиге концентрата в окружающую среду по-прежнему выделяется диоксид серы.

Учитывая ограниченность мировых запасов рения в силу его рассеянности в земной коре, особое внимание уделяется способам вторичной переработки рения из отработанных сплавов и катализаторов, а также отходов медного производства.

К одному из видов вторичного рениевого сырья относятся шлифотходы, образующиеся при шлифовке изделий из жаропрочных сплавов. Для извлечения из вторичных растворов рения разработана *технология электродиализа растворов* [3]. В качестве исходных материалов использовались растворы, получаемые после извлечения рения из солянокислых растворов сорбцией на ионите. При использовании предложенной технологии рений переходит в анодную камеру на 51 %, а никель – на 23.9 %.

В 2021 г. А.С. Игнатовичем была предложена технология *сорбции рения на слабоосновных аннионитах* [1] для его извлечения из отходов производства Джезказганской обогатительной фабрики, расположенной в Казахстане. Технология включает в себя аммиачное выщелачивание концентрата и сорбционное извлечение перренат-ионов на слабоосновном аннионите. При этом извлечение рения в готовую продукцию достигает 94 %, срок окупаемости вложений составляет 5 лет, согласно проведенной автором оценке рентабельности.

Рассмотренные технологии увеличивают степень извлечения рения в товарную продукцию, позволяя значительно снизить негативное воздействие на окружающую среду при переработке. Однако, предложенные способы извлечения находятся на стадии лабораторных исследований и носят оценочный характер. После проведения промышленных испытаний на уровне коммерческого использования с получением товарной продукции, станет возможным внедрение альтернативных технологий извлечения рения на существующих предприятиях по переработке молибденовых и медных сульфидных руд.

Источники и литература

- 1) Игнатович А.С. Извлечение меди и рения из растворов аммиачного выщелачивания медных некондиционных концентратов. Диссертация на соискание степени кандидата технических наук, Санкт-Петербургский горный университет, 2021.
- 2) Ситдиков Ф.Г., Галкова Л.И., Пикулин К.В., Селиванов Е.Н. Переработка рений-содержащих молибденитовых концентратов. Часть 1. Выделение MoO_3 // Цветные металлы, 2017 г., № 5, С. 54–58.
- 3) Трошкина И.Д., Печень В.А., Жукова О.А. Электродиализ растворов переработки рениевых суперсплавов // Экстракция и мембранные методы в разделении веществ: тезисы докладов международной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения академика Б.А. Пурина. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева. 2018. С. 170-171.
- 4) Шодиев А.Н., Норбоева Р.Н., Хасанов А.С., Туробов Ш.Н. Аналитический обзор способов переработки и молибденовых концентратов и промпродуктов // Universum: технические науки: электронный научный журнал. 2022. 5(98).
- 5) Shima Barakan, Valeh Aghazadeh Rhenium extraction from pressure oxidative leaching solution of molybdenite concentrate using hydrophobic deep eutectic solvents // Journal of Molecular Liquids, Volume 376, 2023.