УДК 669.213.223

ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТВАЛОВ ПОРОХОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Колмачихина О. Б., Полыгалов С. Э., Лобанов В. Г., Хабибулина Р. Э.
Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. В статье рассмотрена возможность извлечения ценных компонентов из руд и отвалов Пороховского месторождения вольфрам-молибденовых руд, находящегося в Челябинской области. Месторождение долгое время было законсервировано, в настоящее время появилась возможность возобновить его разработку. В ходе исследований проведены анализы представленной пробы методами рентгеновской дифрактометрии, азотнокислым и затем царско-водочным растворением. Фазовый анализ показал преобладающее присутствие вольфрама в руде в форме ферберита $FeWO_4$. Определены содержания в материале целевых металлов – вольфрама, золота и серебра. Рассмотрена возможность применения магнитной сепарации для выделения минералов вольфрама в концентрат, оценено распределение вольфрама и благородных металлов по продуктам магнитной сепарации.

Ключевые слова: вольфрам, золото, серебро, вольфрам-молибденовые руды, магнитная сепарация, пирит.

Пороховское месторождение вольфрам-молибденовых руд находится в Каслинском районе Челябинской области, рядом с озером Пороховое. Основные горные породы, образующие месторождение – известняки и кварцевые жилы с вольфрамитом и шеелитом, содержание вольфрамита в породе находится на уровне 1 %. Разработку месторождения вели с 40-х гг. XX века несколькими шахтами, но в 1957 году, после аварии на комбинате «Маяк», расположенном в Челябинской области, территория рудника оказалась в зоне радиоактивного загрязнения. В результате рудник был закрыт, шахты завалены породой, наземные здания снесены. На поверхности остались отвалы вскрышных пород, которые долгое время никак не использовались. В настоящее время радиационный фон территории позволяет возобновить разработку месторождения и в 2021 году началась его повторная разведка.

Интерес представляет не только вольфрам, по добыче которого Россия находится на третьем месте в мире (4 % мирового производства) после Китая (80 % мирового производства) и Вьетнама (6 %) [1], но и потенциально содержащиеся в руде золото и серебро.

Для проведения исследований отобрали пробу руды Пороховского месторождения. На первом этапе исследований пробу усреднили, измельчили в лабораторной планетарной мельнице и выполнили фазовый анализ материала с использованием рентгеновской дифрактометрии (рис. 1).

Основными минералами руды определены кварц (SiO_2), калиевый полевой шпат ($KAlSi_3O_8$) и альбит ($NaAlSiO_8$). Вольфрам входит в состав руды в виде минерала вольфрамита, представленного разновидностями гюбнерит ($MnWO_4$) и ферберит ($FeWO_4$). Фазовый анализ рентгеновской дифрактометрией показал преобладающее присутствие вольфрама в руде в форме ферберита $FeWO_4$. Гюбнерит присутствует в меньших количествах.

Наличие в руде в заметных количествах сульфидных минералов, прежде всего пирита, дает основания ожидать присутствие благородных металлов. Для подтверждения указанной особенности навеску тонкоизмельченной руды подвергли азотнокислому и затем царско-водочному растворению в нескольких параллелях. Результаты атомно-адсорбционного анализа полученных растворов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Содержание целевых металлов в пробе

Вольфрам W, %	Золото, г/т	Серебро, г/т
0,991	1,48	19,72

Полученные содержания золота и серебра могут расцениваться как промышленно значимые.

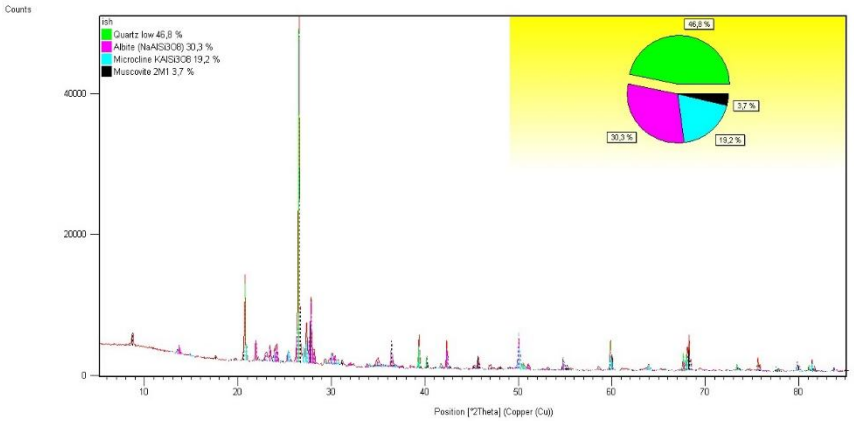

Рис. 1. Дифрактограмма пробы исходной руды

При формировании технологической концепции переработки руды с учетом магнитной восприимчивости вольфрамита головной операцией очевиден выбор магнитной сепарации. Для вскрытия минералов материал предварительно продробили до получения фракции –1,5 мм и подвергли сухой сепарации на лабораторном электромагнитном сепараторе с целью

выделения вольфрамита в магнитный концентрат. Опыты проводили по схеме с перечистной сепарацией магнитной фракции (рис. 2).

	% W	γ, %	ε, %
Исходный материал	0.991	100	100

↓

Магнитная сепарация 1

↓ Немагнитная фракция 1

% W	γ, %	ε, %
0.36	97.66	35.68

↓ Магнитная фракция 1

% W	γ, %	ε, %
27.25	2.34	64.32

↓

Магнитная сепарация 2

↓ Немагнитная фракция 2

% W	γ, %	ε, %
4.72	54.41	9.42

↓ Магнитная фракция 2

% W	γ, %	ε, %
18.61	45.59	90.58

Рис. 2. Количественные показатели опытов по выделению вольфрамита

Из дифрактограммы первой магнитной фракции, представленной на рис. 3, следует, что в концентрат извлекается только ферберит $FeWO_4$.

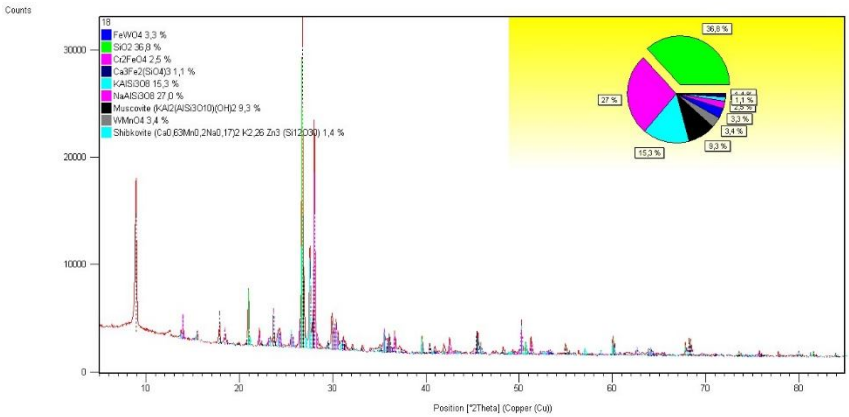

Рис. 3. Дифрактограмма магнитного концентрата 1

Извлечение вольфрамита в концентрат составило порядка 64–70 %, при этом остаточное содержание WO_3 в хвостах магнитной сепарации, обусловленное наличием гюбнерита, неизменно оставалось на уровне 0,3–0,35 %.

В лучших опытах, проведенных в тестовом режиме, удалось получить вольфрамитовый концентрат с содержанием WO_3 на уровне 27 %. Перечистка концентрата на повышенных значениях напряжения магнитного поля вопреки ожиданиям не привела к улучшению качества концентрата, что требует дополнительного изучения. Характерно, что показатели обогащения магнитной сепарацией существенно зависят не только от напряженности магнитного поля, но и от крупности измельчения исходной руды. Однозначно установлено, что переизмельчение негативно влияет на показатели обогащения магнитной сепарацией.

Для оценки распределения благородных металлов по продуктам магнитной сепарации провели анализ магнитных и немагнитных фракций первой и второй операций магнитной сепарации на содержание золота и серебра (рис. 4).

	Au, г/т	Ag, г/т	γ, %	ε, %
Исходный материал	1.480	19.72	100	100

↓

Магнитная сепарация 1

↓ Немагнитная фракция 1

Au	Ag	γ	ε_{Au}	ε_{Ag}
1.427	19.55	97.66	94.14	96.81

↓ Магнитная фракция 1

Au	Ag	γ	ε_{Au}	ε_{Ag}
3.7111	26.892	2.34	5.86	3.19

↓

Магнитная сепарация 2

↓ Немагнитная фракция 2

Au	Ag	γ	ε_{Au}	ε_{Ag}
1.759	23.45	54.4	25.79	47.44

↓ Магнитная фракция 2

Au	Ag	γ	ε_{Au}	ε_{Ag}
6.04	31.007	45.59	74.21	52.56

Рис. 4. Распределение благородных металлов
по продуктам магнитной сепарации

Полученные данные подтверждают предположение об изоморфном вхождении большей части благородных металлов в состав пирита, который не переходит в магнитный продукт. В тоже время, магнитная сепарация позволила получить за одну операцию концентрат, содержащий не только вольфрам, но и благородные металлы в промышленном содержании. Несмотря на то, что большая часть благородных металлов осталась в немагнитной фракции, возможно их выделение методом флотации. Однако применение флотационного метода требует большого расхода воды, а также предварительного тонкого измельчения исходного материала. Поэтому возможное применение подобного метода требует экономической оценки.

Библиографический список

1. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2019 году» / глав. ред. Е. А. Киселев. – Москва, 2020. – 185 с.

УДК 669.2

ПЕРЕРАБОТКА СУЛЬФИДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ И ПРОМПРОДУКТОВ ПО СХЕМЕ «ОБЖИГ – ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ»

Елфимова Л. Г., Лобанов В. Г.
Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. В работе представлены результаты исследований по обжигу и выщелачиванию сульфидных концентратов. Обжиг проводили в присутствии кальций содержащих добавок, что позволило связать серу отходящих газов в гипс. Выбранные параметры двухэтапного обжига позволяют перевести железо в магнетит, который можно выделить магнитной сепарацией. Полученный огарок подвергали выщелачиванию в растворе серной кислоты. Извлечение цинка в раствор при выщелачивании обожженного цинкового концентрата составил 95–98 %; переход железа в кек 85 %. При выщелачивании обожженного медно-цинкового продукта извлечение цинка в раствор составило 82 %, меди 18 %.

Ключевые слова: сульфидные концентраты, обжиг, кальцийсодержащие добавки, выщелачивание, извлечение.

Традиционная технология переработки сульфидных концентратов, в частности медных, включает плавку на штейн, конвертирование, анодную плавку и электролиз. В схеме переработки сульфидных цинковых концентратов первым этапом является окислительный обжиг. Обе схемы сопровождаются получением отходящих серусодержащих газов, которые требуют утилизации. Производство серной кислоты из газов – вынужденная мера, сбыт серной кислоты затруднен. В последние годы на предприятиях реализуют схему, включающую производство серной кислоты из отходящих газов, нейтрализацию ее известняком и складирование получаемого гипса. В реализации этих схем, несмотря на кажущуюся простоту, много спорных моментов и трудностей в реализации [1].

Гидрометаллургические схемы переработки данных видов сырья предполагают на начальном этапе перевод ценных компонентов в соединения, которые хорошо выщелачиваются [2]. Второй вариант – использование автоклавных технологий переработки сульфидного сырья, не требующий