

вод. Такой подход, по мнению автора, позволит более полно изучить гидрогеодинамическую ситуацию на территории проектируемых, строящихся и эксплуатируемых сооружений, подойти к разработке более корректных методов прогноза и борьбы с подтоплением, моделированию гидрогеодинамических процессов в естественных и нарушенных условиях.

Выводы

Изучение и анализ существующих материалов, характеризующих процессы подтопления сооружений, позволили заключить следующее:

1. Причины, вызывающие подъем уровня безнапорных подземных вод под сооружениями, а также в процессе их строительства до конца не изучены.

2. Величина избыточного питания как фактор подтопления не является доминирующей, так как не всегда присутствует при подтоплении.

3. Атмосферное давление на поверхности безнапорных подземных вод признается их главным свойством, но остается без внимания при изучении и в прогнозных расчетах.

4. Изменение величины атмосферного давления под сооружениями и покрытиями является одной из главных причин изменения положения уровня подземных вод, вызывающей подтопление.

5. В естественных условиях давление атмосферы на безнапорные подземные воды также определяет барометрическое состояние и положение уровня. При разности барометрического состояния в соседних фрагментах между ними могут формироваться латеральные потоки, направленные в сторону меньшего влияния атмосферного давления.

6. Сделанные выводы позволяют по-новому подойти к теоретическим основам динамики подземных вод как в нарушенных, так и в естественных условиях.

7. Представленные материалы могут быть интересны специалистам широкого круга, занимающимися вопросами гидрогеологии, инженерной геологии, экологии, проектных и строительных организаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ананьев, В.П.* Анализ развития процессов подтопления на промышленных площадках города Волгодонска / В.П. Ананьев, Н.В. Вальяник // Проблемы инженерной геологии в связи с промышленно-гражданским строительством и разработкой месторождений полезных ископаемых: V Всес. конф. — Свердловск, 1984. — С. 146–150.
2. *Барцев, О.Б.* Режим грунтовых вод, масштабы и причины техногенного подтопления населенных пунктов юга Ростовской области / О.Б. Барцев, Д.Н. Гарькуша, А.М. Никаноров, Л.И. Минина, Е.А. Зубков // Геополитика и экогеодинамика регионов КВ № 9604 от 17.02.2005. — 2014. — Т. 10. — В. 2. — С. 415–422.
3. *Волейшо, В.А.* Закономерности формирования гидрогеодинамического режима подземной гидросферы под воздействием региональных внешних факторов: Автореф. дисс. д.г.-м.н. — М., 2006. — 41 с.
4. *Дзекцер, Е.С.* Госстрой России. Произв. и науч.-исслед. ин-т по инженерн. изысканиям в стр-ве (ПНИИИС) / Е.С. Дзекцер. — М.: ГУП ЦПП, 1999. — 52 с.
5. *Зубков, Е.А.* Динамика, причины и последствия техногенного подтопления территории города Волгодонска / Е.А. Зубков, Д.Н. Гарькуша, О.Б. Барцев, И.В. Иванов, Л.Ю. Дмитрик / Школа экологических перспектив: Матер. II молодеж. инновационного проекта. — Воронежский ГУ, 2013. — С. 127–132.
6. *Муфтахов, А.Ж.* Гидрогеодинамические основы прогноза подтопления промплощадок и фильтрационные расчеты защитного дренажа в сложных гидрогеологических условиях: Автореф. дисс. д.т.н. — М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1975. — 44 с.
7. *Нариманянц, Е.В.* Комплексная оценка изменений эколого-геологических условий лесовых территорий на примере Волгодонского промышленного узла Ростовской области: Дисс. к.г.-м.н. — Ростов на Дону, 2003. — 178 с.
8. *Покровский, В.Д.* Исследование процессов подтопления урбанизированных территорий с использованием геоинформационных технологий (на примере г. Омска): Автореф. дисс. к.г.-м.н. — Томск, 2015. — 215 с.
9. *СНИП 2.06.15-85.* Инженерная защита территории от затопления и подтопления. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. — 20 с.
10. *Сологаев, В.И.* Фильтрационные расчеты и компьютерное моделирование при защите от подтопления в городском строительстве: Монография / В.И. Сологаев. — Омск: СибАДИ, 2002. — 416 с.
11. *Тихомиров, Е.Н.* Прогноз повышения уровня грунтовых вод на промышленных площадках путем статистической обработки данных режимных наблюдений / Е.Н. Тихомиров // Промышленное строительство. — 1973. — № 11. — С. 24–27.
12. *Тюменцева, О.В.* О развитии процесса подтопления в городе Омске // Тр. СибАДИ. — Омск: Сиб АДИ, 1999. — Вып. 3, — Ч. 1. — С. 67–73.

© Корнева Р.Г., 2018

Корнева Римма Георгиевна // rima@ginras.ru

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622.7

**Броницкая Е.С., Ануфриева С.И., Иванова М.В.,
Лаптева А.М. (ФГБУ «ВИМС»)**

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕ- РАБОТКИ ШЕЕЛИТОВЫХ РУД

Показана эффективность применения комбинированных схем обогащения для переработки шеелитовых руд различного типа. Установлено влияние вещественного состава и технологических свойств на выбор метода до-

водки черновых концентратов. Ключевые слова: шеелитовые руды, радиометрическая сепарация, флотация, реагенты, гидрометаллургия, схемы обогащения.

Bronitskaya E.S., Anufrieva S.I., Ivanova M.V., Lapteva A.M. (VIMS)

PRESENT SITUATION AND MAIN DIRECTIONS OF THE DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY OF PROCESSING OF SHEELITE ORE

Showed efficiency of using combined schemes for the enrichment of scheelite ores of various types. Established the effect of the mineral composition and technological properties on the

choice of the method for finalizing rough concentrates.

Keywords: scheelite ores, radiometric separation, flotation, reagents, hydrometallurgy, enrichment schemes.

Российская сырьевая база вольфрама является одной из крупнейших в мире. По состоянию на начало 2016 г. его балансовые запасы, практически полностью заключенные в коренных месторождениях, превысили 1,3 млн т в пересчете на WO_3 ; около 31 % этого количества приходится на попутный металл. По главному вольфрамсодержащему минералу руды вольфрама подразделяются на вольфрамитовые и шеелитовые; на долю первых приходится более 35,5 % запасов страны, на долю вторых — около 64 %. При этом среди крупнейших вольфрамсодержащих объектов преобладают месторождения именно шеелитовых руд — Тырнаузское (Кабардино-Балкарская Республика), Коклановское (Курганская обл.), Скрытое (Приморский край), Мало-Ойногорское (Республика Бурятия), Кти-Тебердинское (Карачаево-Черкесская Республика) и Агылкинское (Республика Саха (Якутия)) [6, 7]. Тут важно заметить, что в этом отношении структура российской и мировой сырьевых баз очень близки.

Формально запасы вольфрамовых руд достаточны для поддержания текущего уровня добычи на протяжении более 310 лет, а при условии полного обеспечения отечественной промышленности собственным сырьем — более 165 лет. Однако реальная ситуация принципиально иная. Как показывает анализ отечественной сырьевой базы в текущих условиях низких цен на вольфрамтовую продукцию (рис. 1) отечественная промышленность реально может рассчитывать на поставки вольфрамтового сырья только с разрабатываемых месторождений, способных обеспечить актуальный уровень добычи в течение не более 14 лет, а полностью обеспечить внутренние потребности в вольфраме (без учета возможного экспорта) — в течение 5–7 лет. Перспективы ввода в эксплуатацию объектов, имеющих в настоящее время статус подготавливаемых к освоению (месторождения шеелитовых руд Скрытое и Кти-Тебердинское) и способных увеличить обеспеченность на 15–30 лет, маловероятны по причине невысокого качества руд — средние содержания WO_3 в них находятся на уровне 0,36 % [6]. Невысокое качество руд (сложный минеральный состав и невысокое содержание триоксида вольфрама — 0,436 %) является существенным препятствием для возобновления добычи на Тырнаузском месторождении, которое много лет рас-

сматривается как главный отечественный источник вольфрамтового сырья в будущем.

В мире успешно реализуются проекты промышленного освоения месторождений, содержащих руды существенно более бедные. К таковым, в частности, относится месторождение шеелитовых руд Нуйфао (Nui Phao) во Вьетнаме, введенное в эксплуатацию в конце 2013 г. Среднее содержание триоксида вольфрама (WO_3) в руде составляет 0,18 %. Еще более низким содержанием WO_3 (всего 0,07 %) характеризуются шеелитовые руды канадского месторождения Сиссон (Sisson) в настоящее время подготавливаемого к эксплуатации. При этом названные зарубежные объекты обрабатываются или будут обрабатываться открытым способом, тогда как запасы большинства отечественных месторождений (в том числе Кти-Тебердинское и Тырнаузское) подсчитаны для условий подземной обработки.

Таким образом, по содержанию WO_3 отечественные месторождения вольфрама как подготавливаемые к эксплуатации, так и остающиеся в нераспределенном фонде недр, не только не уступают зарубежным аналогам, но даже превосходят их. А проблема их ввода в эксплуатацию во многом определяется консервативным подходом к технологическим решениям по переработке руд, требующим высоких содержаний полезного компонента, усугубляющим горнотехнические и экономико-географические условия.

Методы обогащения шеелитовых руд ориентированы на высокую плотность и/или на флотационные свойства шеелита. Технология обогащения включает:

- предварительную концентрацию;
- обогащение измельченных продуктов предварительной концентрации с получением черновых концентратов;
- доводку черновых концентратов.

Классическими способами предварительной концентрации являются: обогащение в тяжелосредних сепараторах и радиометрическая сортировка или обогащение.

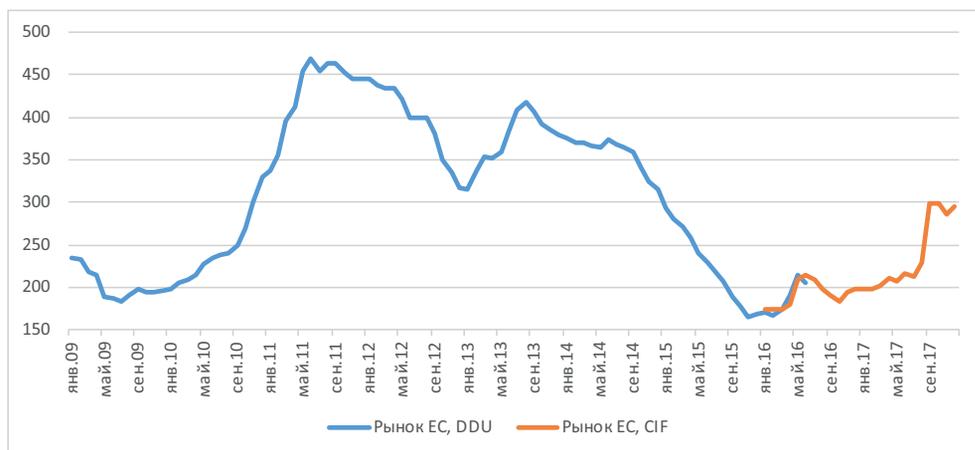


Рис. 1. Динамика цен на паравольфрамат аммония на рынке ЕС в 2009–2017 гг. на условиях поставки DDU и CIF, долл. за 1 % содержания WO_3 в продукте (по данным Metal Bulletin, metal-pages.com и Thompson Reuters)

Тяжелосредняя сепарация позволяет стабилизировать качество питания, поступающего на последующее обогащение, а также выделить не только отвальный продукт, но и разделить руду на богатую крупновкрапленную и бедную тонковкрапленную, часто требующих различные схемы переработки, поскольку они заметно отличаются по вещественному составу.

Эффективным методом является также **радиометрическое обогащение (РО)**, различающее эффекты взаимодействия различных видов излучения с веществом. В частности, рентгенолюминесцентный метод, т.к. шеелит обладает широким спектром люминесценции в синей области с максимумом 420–440 нм. Достоинством радиометрического обогащения является обогащение руды в широком диапазоне крупности от 200 до 10 мм и относительно низкая себестоимость переработки [3].

Предварительная концентрация позволяет: удалить от 20 до 50 % отвального продукта, который можно использовать как строительный материал; повысить в 1,3–1,9 раза содержание ценных компонентов, поступающих на обогащение; снизить в 1,2–1,5 раза объемы швостов; вовлечь в переработку забалансовые руды.

Основным методом обогащения тонковкрапленных шеелитовых руд является **флотация**, при этом технология флотации имеет ряд специфических особенностей. Вследствие низких содержаний триоксида вольфрама в рудах (0,1–0,6 %) и высоких требований к качеству по содержанию и примесям товарных шеелитовых концентратов (ГОСТ 213-83) технологические схемы должны обеспечить коэффициент обогащения на уровне 100–500 при сохранении приемлемых показателей по извлечению. Ввиду этого схемы обогащения шеелитовых руд отличаются разветвленностью и многосекционностью как на стадии получения черновых концентратов, так и в доводочных операциях.

Шеелитовые руды являются труднообогатимыми для флотационного обогащения.

Это обусловлено:

- сложностью их вещественного состава;
- хрупкостью и непостоянством состава шеелита;
- наличием колломорфных структур, склонных к шламообразованию;
- присутствием сульфидов, выделение которых необходимо для получения кондиционных шеелитовых концентратов, а в отдельных случаях также концентратов сопутствующих компонентов;
- наличием кальцийсодержащих (кальцит, флюорит, апатит, доломит) минералов и барита, имеющих близкие к шеелиту флотационные свойства. Установлено, что селективность флотации шеелита зависит от соотношения содержания кальцита и шеелита в руде (практически это соотношение изменяется от 0,4 до 145). При соотношении кальцит: шеелит = 1:5 руда легкообогатима и получение кондиционных вольфрамовых концентратов (не менее 55 % WO_3) сложности не представляет. При соотношении кальцит: шеелит >15 удается получить концентрат с содержанием триоксида вольфрама не более 35 %;

— присутствием естественно гидрофобных минералов (талк, биотит и другие слоистые силикаты), разубоживающих флотационный шеелитовый концентрат;

— влиянием на флотуемость кристаллохимических особенностей и физико-химических свойств разделяемых минералов. Характерными примесями шеелитов являются: молибден, марганец, железо, алюминий, кремний, медь, свинец, ниобий, тантал, мышьяк, висмут, форма вхождения которых разнообразна — от механического включения до изоморфного замещения. Так, флотуемость шеелитов уменьшается с увеличением содержания молибдена в их составе, что связано с особенностями кристаллической структуры молибдошеелита и доступностью для взаимодействия с собирателем;

— наличием минералов с высокоразвитой удельной поверхностью (глины, перетертые алюмосиликаты), интенсивно поглощающих флотационные реагенты;

— степенью окисления руд, частично связанной с ее дезинтеграцией;

— размером зерен и агрегатов шеелита, определяющих потери со шламами [2, 4].

Перспективным направлением совершенствования процесса шеелитовой флотации является предварительное кондиционирование пульпы с щелочными реагентами-регуляторами: известью, карбонатом, бикарбонатом натрия, едким натром. Время обработки каждым реагентом составляет от 2-х до 30 минут при температуре пульпы 40 °С. В качестве собирателя используется жирная кислота. Методом ИК-спектроскопии установлено, что предлагаемый способ кондиционирования пульпы заметно влияет на адсорбции жирных кислот, снижая количество закрепившегося собирателя. При флотации по предложенному способу из руды, содержащей 0,8 % триоксида вольфрама, получен 65,8 % концентрат при извлечении 89,6 %. По традиционному способу из той же руды получают концентрат, содержащий 50 % триоксида вольфрама при извлечении 70 %. Таким образом, предварительное кондиционирование пульпы значительно повышает селективность флотации и снижает расход реагентов [8].

Другим перспективным направлением являются исследования, связанные с усовершенствованием реагентных режимов путем усиления действия реагенто-депрессоров и подбором более селективных реагенто-собирателей, заменителей олеиновой кислоты.

Жидкое стекло является основным депрессором породообразующих минералов при флотации шеелита. Установлено усиление депрессирующего действия жидкого стекла с помощью поливалентных металлов, образованных при перемешивании растворов солей металлов с силикатом натрия, при этом наиболее оптимальным является использование солей железа, кобальта, бериллия. Применение жидкого стекла в виде металл-силикатных гидрозолей повышает диспергирование пульпы и депрессию частиц пустой породы и шламовых частиц размером - 10 мкм.

В настоящее время установлено также эффективное использование полифосфатов в качестве депрессоров кальцита и флюорита при селективной флотации шеелита. Фосфаты, взаимодействуя с ионами Ca^{++} на поверхности кальцита и флюорита, переводят их в раствор в виде растворимых комплексов, уменьшая тем самым количество активных положительно заряженных центров и, следовательно, адсорбцию собирателя, поскольку ионы кальция на поверхности шеелита более стабильны, растворимость шеелита практически не меняется. С увеличением длины полифосфатной цепи увеличивается и депрессирующее действие фосфатов (гексаметофосфат — пирофосфат — триполифосфат).

Предложено большое число продуктов в качестве заменителей олеиновой кислоты, большинство которых относится к группе собирателей на основе продуктов производства синтетических и технических жирных кислот. Жирнокислотные собиратели рекомендуется дозировать во флотацию в виде эмульсий, стабилизированных аэрозолями ОТ или 18.

Благодаря наличию в структуре иона кальция, шеелит активно сорбирует анионные поверхностно-активные реагенты с карбоксильной солидофильной группой (органические кислоты и их мыла), а также с сульфогруппой (алкилсульфаты и др.) вследствие чего его поверхность становится гидрофобной [1, 2].

Перспективными реагентами-собирателями являются азотсодержащие полифункциональные органические соединения. Наличие в молекуле подобных соединений карбоксильной и аминогрупп позволяет использовать их при флотации в широком диапазоне рН среды и температуры пульпы.

Таллактан содержит 70–79 % Na соли N-ацилированной аминокaproновой кислоты, 5–8 % жирных кислот или их мыл, 7–9 % неомыленных веществ, 7–10 % гидролизованного капролактама. По собирательной способности и селективности действия реагент таллактан примерно равноценен известным реагентам этого класса, выпускаемым промышленностью за рубежом: в Швеции — OS-100, в ФРГ — НОЕФ, в Финляндии — лилофлот.

Вследствие низкой селективности содержание триоксида вольфрама в черновых шеелитовых концентратах обычно не превышает 5–15 %. Доводка их на отечественных обогатительных фабриках проводилась по методу Петрова, включающему флотационные перечистки концентрата после пропарки в растворе

2–7 % жидкого стекла при температуре 90 °С в течение 30 минут. В результате пропарки с поверхности порообразующих минералов десорбируется пленка собирателя и поверхность их становится гидрофильной.

Для интенсификации повышения селективности процесса доводки предложено пропарку осуществлять в поле постоянного электрического тока. Кроме того, рекомендуют озвучивать черновой концентрат в процессе пропарки при помощи гидродинамической акустической сирены. В других случаях используют соли фосфорной кислоты. Введение соли фосфорной кислоты в пропарку приводит к резкому снижению содержания фосфора в шеелитовом концентрате.

Доводка некондиционных черновых концентратов флотационными методами в некоторых случаях сопровождается потерями вольфрама. За рубежом бедные шеелитсодержащие руды перерабатываются по

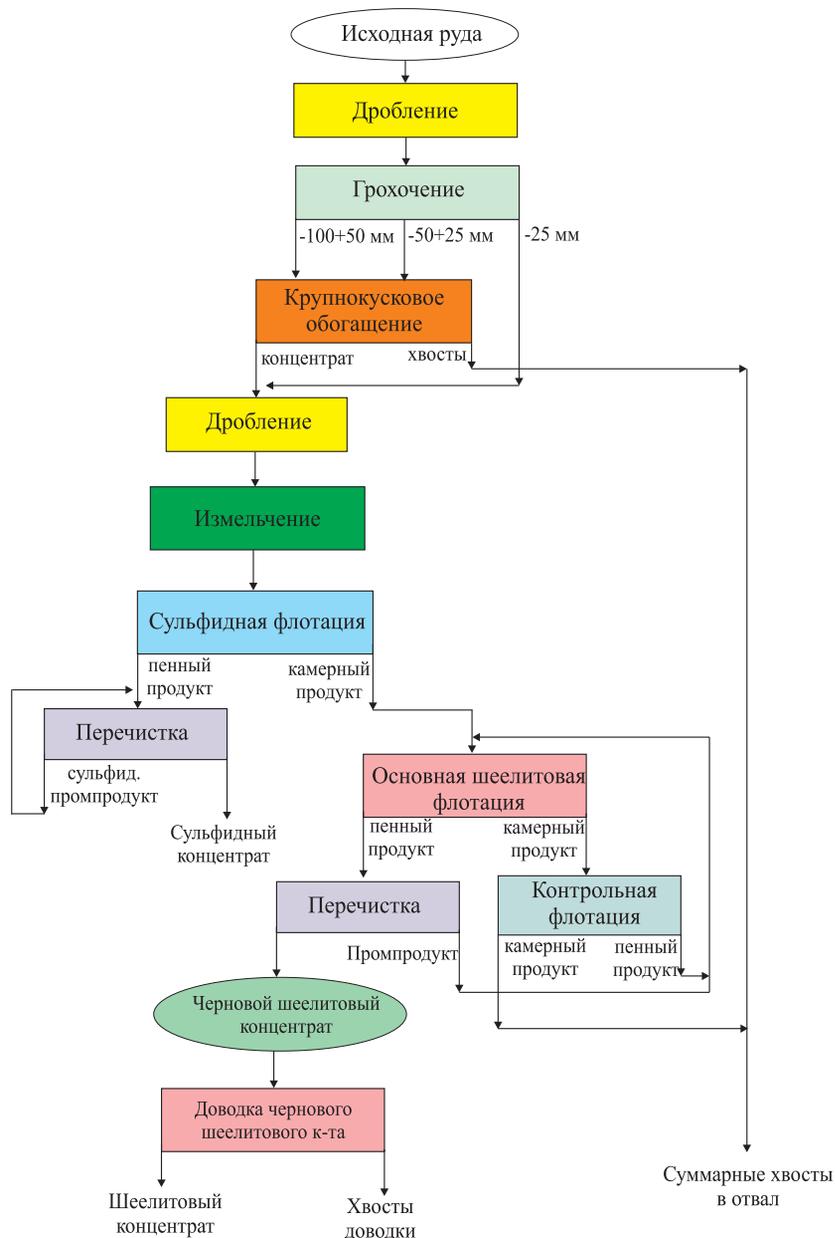


Рис. 2. Принципиальная блок-схема обогащения шеелитовой руды

Технологические схемы переработки различных типов шеелитовых руд

| Тип руды | Объект (месторождение, рудопроявление) | Вещественный состав | Схемы обогащения | Эффективность технологических решений |
|-----------------------------|--|--|---|--|
| Сульфидно-шеелитовый | Кти-Тебердинское | Основную массу руды (97 %) составляют биотитизированные амфиболиты и жильные нерудные минералы. Вольфрам в руде связан с шеелитом. Содержание WO_3 — 0,43 %. Сульфиды представлены пирротинном — 0,8 % и арсенопиритом — 0,5 %; содержание галенита, халькопирита, сфалерита составляет в сумме 0,14 %. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Технологическая схема с предварительной рентгенолюминесцентной сепарацией руды и последующим флотационным обогащением, включающим в себя: <ul style="list-style-type: none"> — цикл сульфидной флотации; — цикл шеелитовой флотации; — доводку черногого шеелитового концентрата по методу Петрова. 2. Для металлургической переработки сульфидного продукта предложена принципиальная схема, состоящая из операций обжига и фьюмингования, позволяющая сконцентрировать свинец и цинк в возгонах, а медь и драгоценные металлы перевести в штейн. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Рентгенолюминесцентная сепарация позволила сократить количество поступающего на флотацию материала в 1,6-1,8 раза [3]. 2. Извлечение ценных компонентов в сульфидный продукт составило, %: Pb — 70, Cu — 64, Ag — 50, Bi — 50, Au — 40, Zn — 26. 3. В результате доводки получен шеелитовый концентрат марки КШ при извлечении 86,5 %. 4. Использование таллактама позволило значительно снизить расходы реагентов-регуляторов: соды на 50, жидкого стекла на 30 %. Снижение расхода этих реагентов, являющихся стабилизаторами флотационной пульпы, повышает сгущаемость продуктов обогащения в 1,5 раза, и тем самым упрощает аппаратную схему водооборота. |
| Шеелит-карбонатный | Скрытое | Основная масса руды состоит из кальцита (29,7 %), кварца (21,3 %) и амфибола (17,4 %). Главный рудный минерал — шеелит. Содержание WO_3 — 0,4 %. Суммарное содержание сульфидов в руде — 1,1 %. Содержание вредных примесей составляет, %: фосфора — 0,24, мышьяка — 0,035 и серы — 0,29. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Учитывая расстояние от Приморского ГОКа до месторождения Скрытое — 356 км, большое значение приобретает предварительная концентрация руды. Применение рентгенорадиометрической сепарации позволило выделить суммарные хвосты крупностью $-150+25$ мм, при содержании в них $WO_3 \sim 0,1$ %, выходе 38 %. Потери в хвостах составили 12 %. 2. Обогащенный продукт поступал на флотацию. | <ol style="list-style-type: none"> 1. При разработке режимов флотации за основу была принята схема действующей обогатительной фабрики. Однако проведение флотации по стадийной технологической схеме с использованием традиционных для шеелитовой флотации реагентов — соды, жидкого стекла и таллового мыла не позволили получить удовлетворительные результаты. Введение дополнительно триполифосфата натрия в основной цикл повысило селективность флотации. 2. В качестве собирателя был использован таллактама, обладающий более высокими собирательными свойствами, по сравнению с талловым мылом. 3. Получен шеелитовый концентрат, содержащий 60,03 % WO_3 при извлечении 73,3 % [1, 2]. |
| Окисленный кварц-шеелитовый | Кордонное | Основным рудным минералом является шеелит, а содержание WO_3 составляет — 0,26 % Главным породообразующим минералом является кварц. Карбонаты, кальцит, родохрозит в сумме составляют 1,5–2,0 %. Слюды представлены биотитом, серицитом и хлоритом. Характерной особенностью этого типа руд является низкая концентрация сульфидов и высокая степень окисления с развитием гидроксидов и сульфатов железа, глинистых минералов — монтмориллонита и септехлорита. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Проба по своему гранулярному составу благоприятна для проведения крупнокускового обогащения, однако рентгенолюминесцентной и рентгенорадиометрической сепарацией были получены некондиционные хвосты с содержанием 0,09 % WO_3 и потерями до 24 %. Это связано с наличием на кусковом материале коррозионных корок, представленных гидроксидами железа с включениями переотложенного шеелита за счет процессов выветривания и окисления. 2. Схема глубокого обогащения включает: проведение магнитной сепарации в сильном магнитном поле ($B = 8 \cdot 10^{-4}$ Тл); флотационное обогащение немагнитной фракции. | <ol style="list-style-type: none"> 1. При решении задачи предварительного обогащения руд подобного типа может быть использована технология предварительной рудоподготовки — обдирка руды в мельницах самоизмельчения с получением обогащенного мелкого класса и кускового материала, обладающего чистой поверхностью. В этом случае рентгенорадиометрическая сепарация способна достаточно эффективно удалить пустую породу. 3. При флотации использованы следующие реагенты: жидкое стекло, триполифосфат натрия и талловое мыло. 4. Получен шеелитовый концентрат с содержанием WO_3 — 56,5 % при извлечении 80,2 % от операции или 62,5 % от руды [5]. |

| Тип руды | Объект (месторождение, рудопроявление) | Вещественный состав | Схемы обогащения | Эффективность технологических решений |
|---------------------------------------|--|--|--|--|
| Дезинтегрированный шеелит-карбонатный | Хорская площадь (участок Арса) | Главный рудный минерал — шеелит. Содержание WO_3 составляет — 0,35 %. Из породообразующих минералов преобладают кальцит (22,1 %), амфиболы (21,2 %) и кварц (17,4 %), слагающие основную массу руды. Встречаются клинопироксен (8,8 %), доломит (7,8 %), слюды (7,6 %) и полевой шпат — плагиоклаз, микроклин (6,8 %). В заметных количествах (1,0 % и более) присутствуют тальк (3,2 %), минералы группы серпентина (1,3 %), лимонит (1,1 %) и флюорит (1,0 %). | <ol style="list-style-type: none"> 1. Руда склонна к переизмельчению из-за большого количества хрупких минералов: карбонатов, тонкопризматического игольчатого амфибола и порошковатого талька, что вызывает появление большого количества шлама, осложняющего процесс обогащения. 2. Вкрапленность шеелита — сотые и тысячные доли мм не позволяют полностью раскрыть минерал даже в шламовых классах крупности. 3. Схема обогащения включала основную шеелитовую флотацию с доводкой черного концентрата автоклавной технологией. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Доводка бедного шеелитового концентрата (2,1 % WO_3) с высоким содержанием карбонатов по методу Петрова неэффективна, поскольку приводит к значительным потерям вольфрама с хвостами флотации многочисленных перечисток и снижению сквозного извлечения триоксида вольфрама. 2. Предложена гидрометаллургическая технология доводки, включающая содовое выщелачивание в автоклавах. При доводке гидрометаллургическим методом извлечение в раствор WO_3 составляет 98 % [3]. |

комбинированным схемам, включающим получение флотацией низкосортных черновых шеелитовых концентратов (3–20 % WO_3) с последующей автоклавно-содовой переработкой. Способ заключается в обработке шеелита содовым раствором в вертикальных автоклавах с механическим перемешиванием с паром. Температура процесса составляет 225–250 °С, давление — 2,5–2,7 МПа. При такой обработке извлечение вольфрама в раствор составляет 90–95 %. При последующей обработке из раствора выделяют вольфрамат натрия, содержащий до 150 г/л триоксида вольфрама. В результате переработки растворов вольфрамата натрия получают вольфрамовый ангидрид WO_3 с суммарным содержанием примесей не более 0,05–0,1 %, пригодный для производства металлического вольфрама или его карбида. Для интенсификации разработан и испытан в промышленных условиях способ щелочного автоклавного разложения с применением механоактивации. Предварительная механообработка проводится в течение 5–15 минут. После механообработки осадок отделяется фильтрацией и обрабатывается раствором соды в автоклаве при температуре 225 °С, соотношении Т:Ж = 1:4 и продолжительности процесса — 2 часа. Извлечение без активации — 93,7 %, после 9 минут активации — 99,4 % [3].

В ВИМСе в течении ряда лет проводятся исследования по разработке технологии обогащения комплексных тонковкрапленных шеелитовых руд. С учетом перечисленных выше направлений совершенствования технологии обогащения были проведены исследования на различных типах руд месторождений — сульфидно-шеелитовых (Кти-Тебердинское), шеелит-карбонатных (Скрытое); рудопроявлений —

окисленных шеелит-кварцевых (Кордонное) и дезинтегрированных шеелит-карбонатных (Хорская площадь, участок Арса). Результаты исследований приведены в таблице, из которой следует, что разработанные технологии основываются на данных изучения вещественного состава и технологических свойств руд, что позволило разработать эффективные технологические схемы переработки, обеспечивающие максимальную полноту извлечения вольфрама и попутных полезных компонентов в товарную продукцию.

На рис. 2 приведена принципиальная технологическая схема переработки, которая является: базовой; ресурсосберегающей; учитывает особенности вещественного состава шеелитовых руд; предусматривает сокращение объема рудного материала, поступающего на каждую последующую технологическую операцию и оптимальной по глубине обогащения при доводочных операциях (соотношение механических и гидрометаллургических методов), обеспечивающей получение высоколиквидной товарной продукции.

При разработке современных технологий переработки шеелитовых руд должны учитываться следующие направления:

1) *на стадии добычи*: применение системы управления качеством на основе экспресс-анализа руд в транспортных емкостях и сортировки на РКС. При подземном способе отработки месторождения крупнопорционная сортировка горнорудной массы с очистных, нарезных и проходческих работ; разделение порций по качеству (сортировка по содержанию вольфрама). В результате из горнорудной массы очистных работ может быть выделена некондиционная руда и порода, что приведет к снижению затрат на транспортировку и переработку товарной руды;

2) *на стадии предварительного обогащения* резкое уменьшение объема перерабатываемой шеелитовой руды и повышение ее качества за счет применения рентгенорадиометрической сепарации в голове процесса обогащения. Высокая контрастность руды является основной предпосылкой для сокращения объема горнорудной массы и повышения содержания WO_3 в руде в 1,3–1,8 раза. Перспективна проработка варианта размещения цеха крупного дробления и рентгенорадиометрической сепарации непосредственно под землей в одной из камер выработанного пространства. При этом вдвое уменьшится объем выдаваемой на гора руды. Отвальный продукт сортировки и хвостовой продукт сепарации может использоваться для закладки выработанного пространства;

3) *на стадии глубокого обогащения:*

— усовершенствование процессов рудоподготовки с целью уменьшения шламообразования при дроблении и измельчении, т.е. создание условий, при которых происходит максимальное раскрытие рудных минералов с минимальным переизмельчением;

— внедрение операции тонкого грохочения в узле цикла измельчения взамен гидравлической классификации, способствующей значительному снижению (на 4–5 %) ошламованию шеелита в питании флотации;

— разработка рациональной гравитационно-флотационной технологии обогащения крупнозернистых руд с использованием высокопроизводительного оборудования (центробежных концентраторов, центробежных отсадочных машин);

— интенсификация флотации тонковкрапленных шеелитовых руд путем усовершенствования реагентного режима (использование более селективных реагентов — собирателей и т.д.);

— повышение комплексности использования сырья за счет разработки условий селекции коллективного сульфидного концентрата;

— поиск новых направлений использования промпродуктов, шламов и хвостов обогащения;

4) *на стадии химико-металлургической переработки:*

— разработка перспективных технологий переработки промпродуктов и шламов обогащения гидрometаллургическими или химическими способами с извлечением всех ценных компонентов;

— определение оптимальной глубины обогащения, от которого в конечном итоге зависит рациональность и комплексность использования сырья, максимальное извлечение вольфрама в конечную продукцию и экономическая эффективность полного цикла переработки руд от добычи до металлургии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Броницкая, Е.С. Современное состояние и перспективы развития технологии обогащения шеелитовых руд России / Е.С. Броницкая, М.В. Иванова, С.И. Ануфриева, И.В. Чепрасов / Рений, вольфрам, молибден. Научные исследования, технологические разработки, промышленное применение: Сб. материалов Международной научно-практической конференции. — М.: ОАО «Институт «ГИНЦВЕТ-МЕТ», 24–25 марта 2016.

2. Броницкая, Е.С. Разработка малоотходной технологии обогащения различных типов шеелитосодержащих руд / Е.С. Броницкая, Л.А. Грекулова, С.И. Иванков // Научные и технологические аспекты охраны окружающей среды. — 2005. — № 6. — С. 25–53.

3. Броницкая, Е.С. Современное состояние и проблемы малоотходной технологии обогащения вольфрамовых руд / Е.С. Броницкая, С.И. Иванков, И.В. Фуки // Научные и технологические аспекты охраны окружающей среды. — 2005. — № 6. — С. 2–25.

4. Гетманская, Т.И. Вольфрамовые руды России: состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы / Т.И. Гетманская, В.М. Бороданов, Е.С. Броницкая. — М.: ВИМС, 2008. — 15 с.

5. Иванова, М.В. Минералого-технологическая оценка вольфрамовой руды рудопроявления Кордонное / М.В. Иванова // Сб. материалов Конференции молодых специалистов в области технологии минерального сырья проходящей в рамках «IX Конгресса обогатителей стран СНГ». — М., 26–28 февраля 2013. — С. 71–73.

6. Лаптева, А.М. Минерально-сырьевая база вольфрама: состояние и перспективы развития / А.М. Лаптева // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2015. — № 6. — С. 13–21.

7. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2015 году: Государственный доклад. — М.: Минприроды России. — 2016. — 341 с.

8. Саматова, Л.А. Разработка теоретических основ селективной флотации кальцийсодержащих минералов, входящих в состав руд Приморских месторождений / Л.А. Саматова, Л.А. Киенко, О.В. Воронова, Л.Н. Плюснина // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2005. — Т. 12. — № 3. — С. 273–286.

© Коллектив авторов, 2018

Броницкая Елена Сергеевна // vims@df.ru
Ануфриева Светлана Ивановна // anufrieva.05@mail.ru
Иванова Маргарита Валерьевна // margo_898989@mail.ru
Лаптева Анна Михайловна // lapteva@vims-geo.ru

УДК 622.7.016.3:543.22

Рябкин В.К. (ФГБУ «ВИМС»)

К ПРОБЛЕМЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТИ ЛАБОРАТОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

*Рассматривается актуальная проблема обеспечения представительности отбора лабораторных технологических проб при поисково-оценочных и разведочных работах. Предлагается сравнивать статистические распределения содержания полезного компонента генеральной совокупности интервалов опробования руды технологического типа и технологической пробы в виде интегральных распределений. Подобие этих распределений при заданном допустимом отклонении средних содержаний служит критерием представительности пробы руды технологического типа. **Ключевые слова:** технологическая проба, масса, технологический тип, разубоживание, опробование.*

Ryabkin V.K. (VIMS)

ABOUT THE PROBLEM OF SAMPLE SELECTION OF LABORATORY TECHNOLOGICAL SAMPLES OF SOLID OF MINERAL RESOURCES

An actual problem of ensuring the representative character of the selection of laboratory technological samples for search and evaluation and exploration works is considered. Integral distributions for a given permissible deviation of the average contents of a valuable component serves as a criterion for the