

УДК 622.765:549.761.52 (571.63)

**МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И
ОБОГАЩЕНИЕ БЕДНЫХ ШЕЕЛИТОВЫХ РУД ПРИМОРЬЯ**

Л. А. Саматова, Е. Д. Шепета, В. И. Гвоздев*

*Институт горного дела ДВО РАН,
ул. Тургенева, 51, 680000, г. Хабаровск, Россия
*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН,
проспект 100-летия Владивостока, 159, 690022, г. Владивосток, Россия*

Изучен минеральный состав бедных руд вольфрамовых месторождений Приморского края: Лермонтовское, Восток-2 и Скрытое; рассмотрены перспективы их обогащения. По результатам выполненных исследований рекомендуется вовлечение в переработку бедных руд этих месторождений в шихте с более богатыми. Установлено, что для месторождения Скрытое целесообразным является включение в схему переработки рентгенометрической сепарации с целью повышения содержания триоксида вольфрама в исходном сырье, что позволит более эффективно извлекать шеелит при их обогащении.

Шеелитовые месторождения, типы руд, минеральный состав, измельчение, флотационный класс, реагентный режим, селективная флотация

Расширение минерально-сырьевой базы по вольфраму в настоящее время за рубежом и в отечественной практике происходит по направлению поисков и отработки месторождений, объемных по запасам, но с низкими содержаниями триоксида вольфрама. В мировых ресурсах вольфрамовые руды представлены в основном шеелитом (~ 70 %) и около 30 % приходится на вольфрамит. Именно шеелитовые месторождения (порядка 80 %) часто характеризуются более низким (менее 0.4 %) содержанием WO_3 , неравномерным распределением полезного компонента и также комплексностью (сопутствующие элементы — Cu, Pb, Zn, Bi, Te, Mo, Sn, Au, Ag; Fe, S; As и др.) [1, 2].

В Приморье бедные шеелитовые руды встречаются на отдельных участках обрабатываемых месторождений Восток-2 и Лермонтовское (скарновые, шеелит-роговиковые), а также преобладают на месторождении Скрытое (скарновое, шеелитовое, штокверковое) — в перспективе планируемое к эксплуатации (рис. 1) [3, 4]. Среднее содержание WO_3 в бедных рудах перечисленных месторождений колеблется в интервалах от 0.1 до 0.5 %.

На **Лермонтовском** месторождении по минеральному составу ранее было выделено два основных типа богатых (более 1 % WO_3) руд: шеелит-кварцевые (20–30 %) и шеелит-сульфидные (70–80 %), которые в сумме составляют около 70 % от объема рудных тел.

Бедные относятся к шеелит-скарново-роговиковому типу. Они встречаются на нижних горизонтах залежи Центральной в экзоконтакте штока высокоглиноземистых гранитоидов.

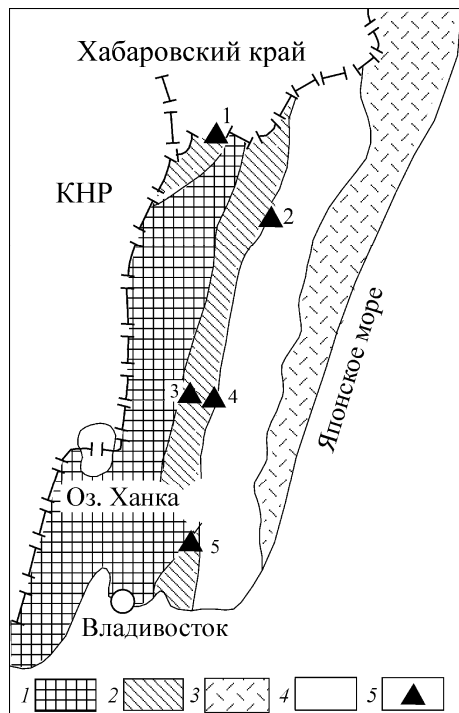


Рис. 1. Геолого-структурная схема Приморского края по А. И. Ханчуку (1993): 1 — Ханкайско-Буреинский кристаллический массив и его обрамление; 2 — Самаркинская призма (турбидит-олистостромовая); 3 — Прибрежный вулканический пояс; 4 — осадки турбидитового бассейна и прилежащих к нему островных дуг; 5 — Скарновые месторождения шеелита (1 — Лермонтовское, 2 — Восток-2, 3 — Скрытое, 4 — Кордонное, 5 — Бенеvское)

Руды представляют собой чередование зон скарнов с роговиками, среди которых наблюдаются гнезда и прожилки шеелит-сульфидно-кварцевого состава. В минеральном составе этих руд (рис. 2) преобладает гранат (андрадит), менее распространены пироксен (геденбергит), амфибол, карбонат, хлорит и сульфидные минералы (пирит, марказит, халькопирит и др.).

Сульфидные минералы и шеелит распространены по рудам крайне неравномерно. В роговиках и скарнах 70 % шеелита (размер зерен от 0.01 до 3 мм; средний 0.2–1 мм) наблюдается в сростках с кварцем; в скарнах, где пироксен на 50 % замещен амфиболом, сосредоточено 29 % шеелита (размер зерен 0.01–0.2 мм); 1 % шеелита (размер зерен 0.03–0.08 мм) — в микропрожилках кварца с карбонатом. Содержание WO_3 в бедных рудах месторождения 0.1–0.4 %. Более полно минеральный состав изученной технологической пробы приведен в табл. 1.

На месторождении Восток-2 бедные руды встречаются в юго-западной части. По мере снижения горизонтов отработки доля руды с содержанием 0.2–0.4 % WO_3 возрастает до более 50 %. Здесь рудные тела сложены преимущественно зонами скарнов (по карбонатно-кремнистым породам) пироксенового, пироксен-гранатового и волластонитового состава, которые чередуются с зонами биотит-кварцевых роговиков и околоскарновых (амфибол- и пироксен-плагиоклазовых) метасоматитов, сформировавшихся по алюмосиликатным породам (песчаникам, алевролитам, сланцам и др.). Скарны часто окварцованы; пироксен представлен геденбергитом (преобладает), а гранат — гроссуляром (см. рис. 2). Среди бедных руд можно выделить два типа: шеелит-скарновый и шеелит-роговиковый. Их минеральный состав приведен в табл. 1.

Основная масса вольфрама представлена шеелитом на 98–99 %. В окварцованных участках биотитовых (12 % от объема руд) и скарнированных (60 % от объема руд) роговиков 65 % шеелита наблюдается в сростках с кварцем, а размер его зерен не превышает 0.8 мм. В зонах пироксе-

новых скарнов (3% от объема руд) зерна шеелита наблюдались в пироксене (0.01–0.15 мм) и кальците (0.01–0.1 мм). В участках сульфидизации (15% от объема руд) шеелит наблюдался в виде идиоморфных зерен (0.01–0.25 мм) в пирротине. Среднее содержание WO_3 в бедных рудах месторождения около 0.4%.

ТАБЛИЦА 1. Основные минералы бедных руд вольфрамовых месторождений Приморья, %

Минералы	Типы руд месторождений				
	Скрытое		Восток-2		Лермонтовское
	шеелит-карбонатный	шеелит-кварц-амфиболовый	шеелит-скарновый	шеелит-роговиковый	шеелит-скарново-роговиковый
Шеелит	0.6	0.5	0.5–0.8	0.1–0.3	0.5–0.7
Апатит	0.9	0.9	1.0–2.0	1.5–3.5	1.0–1.5
Кальцит	18.0	10.0	8.0	12.0	3–5
Пирротин	0.5	5	7.0–13.0	2.0–3.0	1–2
Халькопирит	р. зн.	р. зн.	0.3–0.5	0.2–0.4	р. зн.
Арсенопирит	0.1	0.3	0.3	0.1–0.2	0.3–0.5
Пирит	—	—	0.8	3.0	0.5–1.0
Магнетит	0.2	ед. зн.	ед. зн.	ед. зн.	—
Галенит	—	—	р. зн.	р. зн.	—
Сфалерит	р. зн.	р. зн.	р. зн.	р. зн.	—
Гидроокислы Fe	ед. зн.	2.0	1.0	2.0	10–12
Кварц, плагиоклаз	29.7	29.0	31–38	33–44	40–45
Пироксены	18.4	15.6	27.0	14.0	10–11
Амфиболы	17.1	10.4	4.2	4.0	3–4
Эпидот	ед. зн.	0.5	0.1–0.3	0.6	р. зн.
Гранат	ед. зн.	0.2	0.1	р. зн.	1–2
Флюорит	1.4	1	р. зн.	ед. зн.	ед. зн.
Биотит	—	—	3.0–5.0	5.0–15.0	2–3
Хлорид	7.5	11.6	0.5	1.7	р. зн.
Мусковит (серицит)	4.2	8.3	2.5	5.0	10–11

Примечание: ед. зн. — единичные знаки, р. зн. — редкие знаки.

На месторождении **Скрытое** рудные тела представляют собой пологопадающие горизонты ороговикованных и скарнированных пород, которые рассекаются крутопадающими прожилками шеелит-кварцевого (часто с полевым шпатом, апатитом; редко с сульфидными минералами: пирротин, халькопиритом, арсенопиритом) состава (см. рис. 2).

По минеральному составу (см. табл. 1) можно выделить два типа бедных руд: шеелит-кварц-амфиболовый и шеелит-карбонатный. В шеелит-кварц-амфиболовом типе шеелит наблюдается в сростках с тремолитом, волластонитом, диопсидом. Здесь размер зерен шеелита 0.001–0.01 мм, реже 0.2–0.3 мм [5].

Шеелит-карбонатный тип руд характеризуется повышенным содержанием кальцита (15–9%) и низким содержанием шеелита — среднее по месторождению около 0.4% WO_3 . Основная масса шеелита сконцентрирована в кварцевых прожилках и их зальбандах, где он наблюдается в виде агрегатов и гнезд или отдельных зерен. Размеры зерен шеелита варьируют от 0.01 до 0.3–0.4 мм; реже до 0.6 мм (единичные зерна 2–2.5 мм).

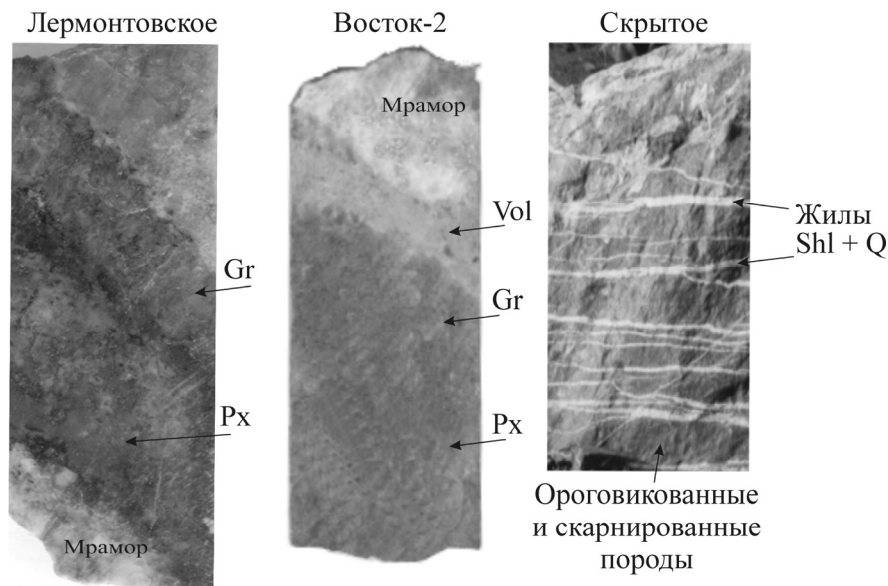


Рис. 2. Типовые образцы шеелитовых руд с низкими содержаниями вольфрама: Лермонтовское — пироксен-гранатовые (андрадитовые) скарны по мраморам; Восток-2 — пироксеновые (часто с гранатом гроссуляром) скарны с зоной волластонитового состава на контакте с мраморами; Скрытое — шеелит-кварцевые прожилки среди ороговикованных, скарнированных пород. Принятые сокращения минералов: Px — пироксен, Gr — гранат, Q — кварц, Shl — шеелит, Vol — волластонит

Сопоставляя бедные шеелитовые руды Приморских месторождений следует отметить, что они похожи, имеют близкий минеральный состав и структурно-текстурные особенности [6]:

— основная масса вмещающих пород представлена роговиками, которые в разной степени окислены, окварцованы, скарнированы и карбонатизированы; имеют плотное тонко-зернистое сложение, массивную, иногда пятнистую и полосчатую текстуры и роговиковую структуру;

— крайне неравномерная и незначительная вкрапленность сульфидных минералов (содержание серы составляет 0.5–2.5 %);

— вольфрам в первичных рудах представлен шеелитом, который наблюдается в виде неравномерной редкой вкрапленности, гнездовых скоплений, тонких и прерывистых прожилков в породе. Основной размер зерен шеелита 0.03–0.15 мм;

— в роговиках и скарнах встречаются наиболее корродированные вкрапленники шеелита, которые находятся в сростках с пироксенами, реже — амфиболами. Размер зерен шеелита меньше 0.03–0.08 мм, с изъеденными и зазубренными ребрами и гранями; иногда по краям шеелит замещается кальцитом.

Следует обратить внимание на то, что в минеральном составе бедных руд изученных месторождений большой процент составляют пироксены (27 %) и амфиболы (17 %), которые обладают высокой плотностью и вязкостью. Это может значительно затруднять раскрытие сростков в процессе измельчения и косвенно влиять на их последующее разделение.

Вовлечение в переработку руд, содержащих труднораскрываемые комплексы, в которых минеральные фазы находятся в тесном взаимопрорастании, требует постановки многогранных исследований (начиная с рудоподготовки и завершая разработкой флотационных технологий), что позволит обеспечить полноту и комплексность извлечения ценных компонентов [7, 8].

В работе обобщены и приведены результаты измельчения материала исследуемых проб бедных шеелитовых руд, проведено изучение раскрытия минералов кальциевого комплекса при их измельчении. Содержание WO_3 в пробах руды: Лермонтовского месторождения — 0.37 %, Вос-

ток-2 — 0.35 % WO₃, Скрытого — 0.21–0.25 %. Контрастность в химическом составе наблюдается только по кальциту: в пробе Лермонтовского месторождения содержание CaCO₃ составляет 3.25 %, тогда как в пробе Востока-2 — 12.1 %, в пробах Скрытого в карбонатной пробе — 11.2 % CaCO₃, в амфиболовой — 8.37 %.

Измельчение дробленой (– 2 + 0 мм) руды выполнялось в лабораторной мельнице на килограммовых навесках при Т:Ж:Ме = 1.0 кг : 600 мл H₂O: 8.8 кг шаровой нагрузки. Исследовано влияние времени измельчения на скорость образования основного флотационного класса и доли металла (Ме) в нем, результаты которого представлены в табл. 2, 3.

ТАБЛИЦА 2. Распределение шеелита по классам крупности при изменении степени измельчения

Время измельчения, мин	Содержание класса, мм			Доля WO ₃ в классах, %			V, %/мин образования класса и Ме			d, мкм зерна шеелита
	+ 0.16	– 0.08+0	– 0.015 в т.ч.	+ 0.16	– 0.08+0	– 0.015 в т.ч.	– 0.08+0	– 0.015	– 0.015 в т.ч.	
Месторождение Лермонтовское, Центральная залежь										
0	73.2	18.0	5.9	64.8	22.9	7.4	—	—	—	180
5	44.9	36.4	11.6	37.6	41.3	11.6	3.69	1.14	0.84	130
10	20.6	50.1	13.9	14	54.3	12.7	3.21	0.8	0.53	90
15	8.9	62.5	16.6	5.6	67.4	14.9	2.97	0.71	0.5	70
20	3.7	73.2	20.4	1.19	78.1	16.8	2.76	0.73	0.47	58
25	0.97	87.8	26.5	0.27	90.3	21.6	2.79	0.82	0.57	46
30	0.49	89.7	29.1	0.16	92.1	23.0	2.39	0.77	0.52	44
Итого	—	—	—	—	—	—	2.97	0.83	0.57	—
Месторождение Скрытое										
Амфиболовая руда										
0	70.5	20.1	7.8	60.4	28.3	8.3	—	—	—	180
5	49.2	33.6	14.0	33.7	46.2	12.2	2.71	1.23	0.78	120
10	27.6	48.0	19.0	15.9	65.7	15.7	2.79	1.12	0.74	80
21	6.02	68.6	26.7	3.3	78.7	22.5	2.31	0.9	0.68	60
23	4.56	70.35	27.3	2.9	80.0	23.6	2.18	0.84	0.81	55
Итого	—	—	—	—	—	—	2.50	1.02	0.75	—
Карбонатная руда										
0	74.0	17.1	6.6	62.4	25.7	8.5	—	—	—	170
5	51.4	31.5	12.5	40.2	41.5	13.4	2.89	1.18	0.98	120
22	5.0	73.9	25.0	3.0	80.7	26.6	2.58	0.84	0.82	56
Итого	—	—	—	—	—	—	2.73	1.01	0.90	—
Месторождение Восток-2										
0	69.4	19.3	5.3	47.2	34.5	5.2	—	—	—	160
12	24.3	50.7	13.3	12.1	56.9	10.1	2.62	0.67	0.41	90
17.6	10.4	60.9	15.4	14.2	67.4	11.5	2.36	0.57	0.36	80
19.8	7.5	64.3	16	2.7	70.1	11.9	2.27	0.54	0.34	70
26.4	2.9	76.3	18.3	1.1	80.5	13.5	2.16	0.49	0.32	56
33	1.12	86.4	25.3	0.5	90.2	21	2.03	0.61	0.48	50
40	—	89.5	26.6	—	93.2	22.2	1.76	0.53	0.43	45
Итого	—	—	—	—	—	—	2.35	0.57	0.39	—

ТАБЛИЦА 3. Содержание кальциевых минералов в классе $-0.08 + 0$ мм в зависимости от степени измельчения

Время измельчения, мин	Содержание класса -0.08 мм, %	Доля Me, %, в классе -0.08 мм					
		WO ₃	<i>d</i> , мкм шеелита	P	<i>d</i> , мкм апатит	CaCO ₃	<i>d</i> , мкм кальцита
Месторождение Скрытое							
Амфиболовая руда							
0	20.1	28.3	180	—	—	25.8	178
5	33.6	46.2	120	—	—	39.3	138
10	48.0	65.7	80	—	—	50.6	103
21	68.6	78.7	60	70.9	64	70.8	66
23	70.4	80.0	55	73.3	57	73.0	59
Карбонатная руда							
22	73.9	80.7	56	78.1	58	78.4	59
Месторождение Восток-2							
	19.3	34.5	160	21.5	190	15.4	180
26.4	76.3	80.5	56	76.6	56	74.0	59

Как видно, при измельчении бедных руд процент образования основного флотационного класса $-0.08 + 0$ мм для рассматриваемых проб меняется незначительно, в пределах 3.0–2.4%/мин. Для руды месторождения Скрытое отмечено несколько повышенное образование шламов и более высокая концентрация в них шеелита. В измельченной руде этого месторождения на долю металла в шламах в готовом флотационном классе приходится 33 %, соответственно для месторождения Лермонтовское — 24 %, для пробы месторождения Восток-2 — 16 %. Средний размер зерен шеелита в руде, при 80 % металла в классе $-0.08 + 0$ мм, составляет 60–55 мкм.

В диапазоне оптимальной крупности питания флотации для всех руд имеет место близкий размер зерен минералов всего кальциевого комплекса — 56–59 мкм. Доля металлов в готовом классе составляет 73–80 %. Наряду со сложностью разделения кальциевых минералов, обладающих близкими флотационными свойствами, это один из факторов, осложняющих разделение минералов при флотации [9].

В табл. 4 представлены данные по влиянию степени измельчения руды на потери шеелита с отвальными хвостами и извлечение апатита, кальцита и серы.

Для бедных руд Лермонтовского месторождения подробно исследовано поведение кальциевых минералов при изменении времени измельчения от 5 до 30 мин. Оптимальным временем измельчения следует считать 20 мин. Содержание класса $-0.08 + 0$ мм в измельченной руде составляет 73.2 %, триоксида вольфрама — 78.1 %. При флотации снижение потерь шеелита на 1 % роста выхода черного концентрата составило 0.74 %. Последующее уменьшение помола привело к снижению потерь на 0.1 %, при росте выхода черного концентрата в открытом цикле на 1.7 % — соответственно на 1–0.06 %. Извлечение апатита и кальцита в хвосты отвальные на уровне 84–87 %. При увеличении содержания готового класса в питании флотации извлечение кальциевых минералов возрастает на 13–17 %. Такие же закономерности прослеживаются и для руд месторождений Скрытое и Восток-2.

При разработке схем обогащения бедных шеелитовых руд перспективным направлением является применение предварительной концентрации по содержанию триоксида вольфрама рентгенометрической сепарацией (РРС), затем выделение сульфидных минералов и флотация всей гаммы кальциевых минералов с последующим разделением кальцийсодержащего комплекса, представленного шеелитом, апатитом и кальцитом.

ТАБЛИЦА 4. Содержание кальциевых минералов и серы в отвальных хвостах в зависимости от степени измельчения руды

Питание флотации		Черновой концентрат		Хвосты отвальные				Время измельчения, мин	Реагенты, г/т	
класс – 0.08 + 0, мм		Выход, %	Содержание WO ₃ , %	Потери, %	Извлечение, %				Жидкое стекло	Олеат натрия
Содержание класса, %	Доля WO ₃ , %			WO ₃	P	S	CaCO ₃			
Руда месторождения Лермонтовское, Центральный залежь										
36.4	41.3	3.5	6.2	41.1	92.8	98.6	93.6	5	500	300
50.1	54.3	5.6	5.8	11.5	90.1	98.3	90.1	10	100	50 + 30
73.2	78.1	6.9	4.9	9.0	87.2	98.3	83.8	20	—	—
87.8	90.3	13.0	2.6	8.9	85.2	96.7	80.5	25	—	—
89.7	92.1	16.3	2.0	11.9	80.1	96.3	76.7	30	—	—
Амфиболовая руда месторождения Скрытое, фракция, обогащенная рентгенометрической сепарацией										
51.6	70.2	11.6	4.3	12.8	80.7	89.3	87.1	10	1000	300
60	77.1	13.3	3.8	11.2	80.3	89.3	84.4	15	100	50 + 30
65.8	80.5	15.9	3.2	10.5	77.0	89.6	82.0	20	—	—
74.9	88.1	17.3	3.0	9.2	66.7	86.7	79.3	25	—	—
Бедная руда месторождения Восток-2										
50.7	56.9	3.4	8.5	16.6	—	—	—	—	350	250
64.3	70.1	5.9	5.5	7.36	—	—	—	—	100	50 + 30
76.3	80.5	6.2	5.0	5.32	—	—	—	—	—	—
84.6	90.2	8.3	3.8	9.62	—	—	—	—	—	—
89.5	92.8	12.0	2.6	10.7	—	—	—	—	—	—

Примечание: расход реагентов указан для основной, контрольной и перечистой операций. Сода подавалась до pH 9.8, жесткость меньше 1 мг-экв/л.

В исследованиях ЗАО “Механобринжиниринг” (Санкт-Петербург) и ООО “Радос” (Красноярск) изучена возможность предварительного повышения содержания WO₃ в исходном продукте рентгенометрической сепарацией двух типов руд месторождения Скрытого: шеелит-карбонатной (ТП-4) и шеелит-амфиболовой (ТП-5), что важно для использования в перспективе действующей схемы Приморской обогатительной фабрики (ПОФ) [10].

Для обогащенных фракций проб ТП-4 и ТП-5 на основе проведенных исследований предложены следующие варианты схемы флотационного обогащения:

I. Шеелит-карбонатная руда: измельчение руды до 80% класса – 0.08+0 мм; основная сульфидная флотация с последующей перечисткой сульфидного концентрата; основная и контрольная шеелитовая флотация, две перечистки черного концентрата, сгущение, пропарка, пять последующих перечисток, контрольная дофлотация. Предложен вариант выделения промпродуктового цикла, питанием которого будут концентрат контрольной флотации и промпродукт 1-й и 2-й перечисток концентрата основного цикла. В цикле предусматривается классификация в гидроциклоне и две промпродуктовые флотации. Слив гидроциклона и хвосты первой промпродуктовой флотации выводятся в отвал.

Реагентный режим: 1) сульфидный цикл: жидкое стекло — 100 г/т, бутиловый ксантогенат — 40 г/т, пенообразователь Т-80 — 15 г/т; 2) шеелитовый цикл: сода — 3.0 кг/т, жидкое стекло — 500 г/т, триполифосфат (ТПФ) — 200–100 г/т, олеат натрия — (200 + 80) – 80–40 г/т, эмульсия керосина — 100–50 г/т; 3) пропарка — 1 ч, температура ~ 95°C, расход жидкого стекла 7–8 кг/т руды.

В замкнутом цикле на чистой воде получен шеелитовый концентрат с содержанием WO_3 56.5 % из руды с содержанием WO_3 0.47 %, при извлечении — 73.9 %.

II. Шеелит-амфиболовая руда: измельчение руды до 66 % класса – 0.08 + 0 мм; сульфидный цикл: основная шеелитовая флотация (хвосты в отвал); перечистка, промпродукт, которой поступает на дофлотацию (промпродукт в отвал); пропарка — 1.5 ч, три перечистки в доводке, контрольная дофлотация. Концентрат контрольной и промпродукты 3-й, 4-й перечисток направляются на сгущение. В замкнутом цикле на чистой воде в шеелитовый концентрат с содержанием 63 % WO_3 извлечение составило 83.9 %.

Реагентный режим: сода в измельчение 1.0 кг/т, в сульфидном цикле бутиловый ксантогенат — 180 г/т, Т-66 — 100 г/т; шеелитовый цикл: жидкое стекло — 1.0 кг/т, ТПФ — 10 г/т, олеат натрия — 180–25–45 г/т; пропарка: жидкое стекло — 70 кг/т продукта.

III. Предложен вариант использования схемы ПОФ с двумя пропарками черного концентрата: первая пропарка — при остаточной концентрации жидкого стекла 1.5–2.5 %; вторая пропарка — при остаточной концентрации жидкого стекла 4.5–5.0 %. В результате на шеелит-карбонатной руде с содержанием 0.64 % WO_3 на чистой воде получен шеелитовый концентрат с содержанием 56.4 % WO_3 , извлечение составило 74.3 %. На шеелит-амфиболовой руде с содержанием 0.63 % WO_3 получен концентрат 55.7 % WO_3 , извлечение 84.6 %.

Бедные руды текущей добычи и руда промышленных отвалов месторождения Восток-2 относятся к разряду забалансовых. Схема обогащения: измельчение руды до 65–70 % класса – 0.08 + 0 мм, доля шеелита в данном классе 80–85 %. Сульфидный и шеелитовый циклы осуществляются в стандартном режиме ПОФ. Следует отметить, что на ПОФ обогащение забалансовой руды идет исключительно в шихте с богатой рудой. При объеме забалансовой руды в шихте 10–20 % и по металлу 4–10 % общее содержание WO_3 в шихте, поступающей в переработку, составляет 0.8–0.86 %, в итоге извлечение в кондиционный концентрат достигает 87–89.7 %.

Необходимость шихтования подтверждают результаты лабораторных исследований на ряде проб забалансовой руды (картирование), представленные в табл. 5. Реагентный режим основного цикла: сода 200–300 г/т (до жесткости пульпы шеелитовой флотации меньше 1 мг-экв/л), жидкое стекло — 350 г/т, олеат натрия — 250 + 50 + 30 г/т.

Кроме того, для обогащения бедных окисленных, смешанных и первичных руд Центральной залежи Лермонтовского месторождения рассмотрены две схемы обогащения: гравитационно-флотационная и флотационная. Результаты экспериментов показали преимущество флотационной схемы обогащения, что обусловлено качественной характеристикой обогащаемого сырья, поэтому в дальнейших исследованиях применяется флотационный метод обогащения.

Как показали исследования, обогащение окисленной руды даже в лабораторных условиях крайне неэффективно, поэтому результаты не приводятся. Бедная руда нижних горизонтов Центральной залежи обогащалась по флотационной схеме, которая моделирует схему ПОФ (без сульфидного цикла). При содержании в руде WO_3 — 0.3–0.45 % извлечение в шеелитовый концентрат составляет 45–62 %. Реагентный режим: сода — 2–3.5 кг/т до pH — 9.8, жидкое стекло — 500 г/т, олеат натрия — (200 + 100 + 50 + 40) + 50 г/т, динатрийфосфат — 100 г/т. Низкая эффективность обогащения обусловлена, как упомянуто выше, сложностью вещественного состава и качественной характеристикой руды, в связи с чем она может перерабатываться только в шихте с более богатой рудой.

ТАБЛИЦА 5. Показатели обогащения проб забалансовой руды месторождения Восток-2

Руда				Шеелитовый концентрат		Остаточная концентрация жидкого стекла, %
Содержание, %				Содержание, %	Извлечение, %	
WO ₃	P	CaCO ₃	S	WO ₃	WO ₃	
0.22	0.22	2.9	1.6	40.4	59.9	4.3
0.24	0.49	7.9	4.7	43.8	73.4	5.0
0.31	0.64	7.7	2	43.5	79.4	5.03
0.34	0.4	8.1	5.3	48.6	81.8	3.4
0.5	0.35	11.5	8.9	22.9	80.8	7.8
0.44	0.4	11.9	6.7	42.6	70.1	6.0
0.39	0.27	12.9	6.8	48.6	70.4	4.9
0.22	0.2	6.5	1.64	43.2	71.8	4.9
0.23	0.46	3.1	0.93	52.5	80	4.2
0.32	0.38	8.06	4.29	42.90	74.16	5.1

ВЫВОДЫ

1. Бедные шеелитовые руды обрабатываемых месторождений Восток-2 и Лермонтовское, а также планируемого в перспективе к эксплуатации месторождения Скрытое, имеют близкий минеральный состав и текстурно-структурные особенности. Среднее содержание триоксида вольфрама в рудах колеблется от 0.1 до 0.5 %.

2. Экспериментально подтверждена возможность вовлечения в переработку бедных руд эксплуатируемых месторождений в шихте с более богатой рудой по существующей стандартной технологии предприятий, с сохранением технологических показателей.

3. Для руд месторождения Скрытое целесообразна компоновка комбинированной схемы, включающей обогащение исходной руды рентгенорадиометрической сепарацией, что позволит повысить концентрацию в ней триоксида вольфрама и эффективность последующего обогащения флотационным методом.

На основе выполненных исследований и промышленных испытаний предложены режим и оптимальные технологические параметры операций схемы, обеспечивающие селективное разделение кальциевых минералов, обладающих близкими физико-химическими свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гвоздев В. И.** Скарны шеелит-сульфидных месторождений Востока России // Рудные месторождения континентальных окраин. — Владивосток: Изд-во Дальнаука, 2000. — Вып. 1.
2. **Гвоздев В. И.** Рудно-магматические системы скарновых шеелит-сульфидных месторождений Востока России. — Владивосток: Изд-во Дальнаука, 2010.
3. **Ханчук А. И.** Геологическое строение и развитие континентального обрамления северо-запада Тихого океана: автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. — М., 1993.
4. **Ханчук А. И.** Палеогеодинамический анализ формирования рудных месторождений Дальнего Востока России // Рудные месторождения континентальных окраин. — Владивосток: Изд-во Дальнаука, 2000.
5. **Саматова Л. И., Гвоздев В. И., Киенко Л. А. и др.** Минералого-технологические особенности руд шеелитового месторождения Скрытого и перспективы их обогащения (Приморский край) // Тихоокеанская геология. — 2011. — № 6.

- 6. Саматова Л. А., Воронова О. В., Киенко Л. А. и др.** Минералого-технологические особенности вольфрамовых руд месторождений Приморья // ГИАБ, Дальний Восток. — 2009. — Вып. 4.
- 7. Саматова Л. А., Киенко Л. А., Воронова О. В., Плюснина Л. Н.** Пути повышения комплексности использования сырья при обогащении вольфрамовых руд Приморья // Изв. вузов. Горный журнал. — 2009. — № 8.
- 8. Саматова Л. А., Киенко Л. А., Воронова О. В.** Флотация апатита из бедных шеелитовых руд // Научные основы и современные процессы комплексной переработки труднообогатимого минерального сырья: материалы Междунар. совещ. “Плаксинские чтения-2010”. — Казань, 2010.
- 9. Барский Л. А., Кононов О. В., Ратмирова Л. И.** Селективная флотация кальцийсодержащих минералов. — М.: Недра, 1979.
- 10. Максимов И. И.** Разработка технологии обогащения руды месторождения Скрытое // Отчет ЗАО “Механобринжиниринг” (г. Санкт-Петербург) и ООО “РАДОС” (г. Красноярск).

Поступила в редакцию 13/IV 2012