

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА РУД ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОРУДЕНЕНИЯ

Е.Д. Шенета¹, В.И. Гвоздев², Л.А. Саматова¹, А.А. Орехов²

¹ФГБУН Институт горного дела ДВО РАН, ул. Тургенева 51, г. Хабаровск, 680000; e-mail: elenashepeta56@mail.ru

²ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр-т 100-лет Владивостоку 159, г. Владивосток, 690022

Поступила в редакцию 6 марта 2018 г.

Изучен вещественный состав типовых метасоматических пород и руд текущей добычи месторождения Восток-2. По данным минералого-петрографического анализа отмечены характерные взаимоотношения минералов. На материале буровых скважин проведены исследования на обогатимость чистых типов руд. Установлено, что рост потерь шеелита обусловлен увеличением доли неблагоприятных ассоциаций шеелита с пироксеном, амфиболом, слюдой и появлением рассеянного шеелита в объеме разубоживающих пород.

Ключевые слова: *скарновое шеелит-сульфидное медно-вольфрамовое месторождение, минералогопетрографический метод, вещественный состав руд, флотация, юг Дальнего Востока России.*

ВВЕДЕНИЕ

Скарновое шеелит-сульфидное месторождение Восток-2 (рис. 1) расположено на севере Арминского рудного района (АРР) в Центрально-Сихотэ-Алинском складчатом поясе. По новым представлениям о геологическом строении и геодинамической эволюции Сихотэ-Алиня, АРР и его составная часть – Восточковский рудный узел – представлены фрагментами Самаркинского и Журавлевского террейнов [15, 16]. Месторождение находится на незначительном удалении от Центрального Сихотэ-Алинского разлома в северной части Самаркинского террейна в прибрежно-морских карбонатно-терригенных и кремнисто-терригенных юрских отложениях, в южном обрамлении Бисерного и в северном – Дальнинского массивов гранитоидов.

Рудные тела морфологически представлены крутопадающими линзообразными залежами, расположенными вдоль контактов мраморов и метаморфизованных диабазовых порфиритов [3, 4]. Содержание WO_3 в руде 1.5 (1.1)–0.58 %. Впервые годы работы Приморской обогатительной фабрики (ПОФ) извлечение шеелита в кондиционный концентрат (WO_3 – 57–51.5 %) составляло 63.6–78.7 %, 2004–2018 гг. 90.3–86.4 %. В комплексных рудах месторождения кроме вольфрама присутствуют медь (0.65–0.14 %), золото (1.8–0.45 г/т) и серебро (7.8–1.8 г/т). На ПОФ

выпускается медный концентрат с содержанием Cu 18–16 %, Au – 35–24 г/т, Ag – 290–140 г/т, извлечение, соответственно: Cu – 77–64 %, Au – 46–43.5 %, Ag – 60–53 %.

Шеелитовые скарновые месторождения представляют главный генетический тип вольфрамовых месторождений, широко эксплуатируемых в России. В мировом балансе на долю этих месторождений приходится около 65 % добычи руды, в то время как запасы составляют не более 30 % [11]. В настоящее время расширение минерально-сырьевой базы вольфрама в России и зарубежом происходит по направлению поисков и отработки месторождений объемных по запасам, но с низким содержанием WO_3 0.15–0.20 % (Кинг-Айленд (Австралия), Фербелтал (Австрия), Сало (Франция), Кти-Тебердинское (Северный Кавказ), Верхние Кайракты, Коктенколь (Казахстан), Скрытое (Россия, Приморский край)), вовлечения некондиционных горных отвалов и техногенных образований [5, 8–10, 12–14]. Рентабельная отработка бедных месторождений и техногенных образований может быть достигнута по комбинированным схемам обогащения с предварительной кон-центрацией ценных компонентов в исходной руде с применением радиометрических методов сепарации [6, 20, 22].

Необходимость расширения минерально-сырьевой базы связано с ростом потребления металлов,

Таблица 1. Содержания шеелита и сульфидов в образцах пород и руд, %.

№ образца	Описание породы	Содержание, %	
		серы	шеелита
1 (шлиф 1)	Vt метасоматит с прожилками скарнирования	Ед.	1–2 в жиле (зерна < 1 мм)
2 (шлиф 2)		Ед.	1–2 в жиле (зерна < 1 ≤ мм)
3 (шлиф 5)	слабо скарнированный Vt метасоматит	3–5 в жиле	10–15 – в жиле (зерна < 2 ≤ мм)
6 (шлиф 8)		3–4 в жиле	20–50 (зерна < 1 ≤ мм)
7 (шлиф 9)		1–2 в жиле	ед. (5 зерен ≤ 2 мм)
4 (шлиф 6)	слабо скарнированный. кварц. Vt метасоматит с прожилками Q-Shl	< 1 в жиле	60 – в жиле (зерна < 2 ≤ мм); 1 – в метасоматите (зерна < 1 мм)
5 (шлиф 7)	Vt метасоматит с прожилками скарнирования, Q	Ед.	15–20 – в жиле (зерна < 1 ≤ мм)
8 (шлиф 11)	скарнированный (amf) роговик	Ед.	<0.5 (≤ 1 мм)
9 (шлиф 12)	скарнированный (amf) роговик	Ед.	ед. (4 зерна ≤ 1 мм)
10 (шлиф 13)	гранодиорит с вкрапленниками Shl	Ед.	ед. (2 зерна ≤ 1.5 мм)
11 (шлиф 14)	гранодиорит с вкрапленниками Shl	Ед.	2–3 (зерна ≤ 1 мм)
12 (шлиф 16)	Shl-Q-S (сульфидная) руда	65–70	3–6 (зерна < 1 ≤ мм)
13 (шлиф 18)	Shl-Q-S (сульфидная) руда	30–35	2–3 (зерна < 1 ≤ мм)
14 (шлиф 19)	Shl-Q-S (сульфидная) руда	65–70	5–7 (зерна < 1 ≤ мм)
15 (шлиф 20)	Shl-Q-S (сульфидная) руда	60–65	ед. (2 зерна < 1 мм)

Примечание. Vt – биотит, Shl – шеелит, S – сульфиды, Q – кварц, amf – амфибол, Ед – единичные зерна.

ный, в которых выделяются подтипы, обусловленные разнообразием минеральных ассоциаций.

Выделяемые типы руд имеют тесную пространственную связь, образуют постепенные переходы одних в другие, и оконтурить более крупные блоки по типам руд для раздельной их выемки практически невозможно.

Некоторое исключение составляют мономинеральные шеелитовые линзы мощностью 0.5–2 м и протяженностью 10–30 м, которые резко отличаются по своим внешним признакам (крупнокристаллические зернистые агрегаты светлой окраски) и представляют собой, по существу, богатые черновые шеелитовые концентраты. Но такие линзы единичные и разрабатываются с общей массой руды.

По керновому материалу (выборка по 380 пробам скважин нижних горизонтов месторождения) представлены интервалы колебаний мощности разных типов руд и пород и содержания шеелита (табл. 2, данные химического анализа).

Руда грейзенового типа встречается крайне редко и в среднем составляет 2–2.5 % от общей массы шеелит-кварцевой руды с содержанием WO_3 9.5–27 % (в верхних горизонтах карьерной добычи мощность грейзеновой руды составляла 1–2(3) м с содержанием WO_3 30–50 %). Просматривается тенденция снижения содержания шеелита по основным типам руд при некотором увеличении содержания в разубоживающих породах. По данным средних проб содержание в разубоживающих породах возросло с 0.01(0.05) % до

0.3(0.4) % WO_3 . Встречаются отдельные пробы пород с содержанием WO_3 0.7–2.0 %, что обусловлено незначительной мощностью пробы и увеличением в ней доли шеелит-кварц-сульфидных прожилков.

Образцы, характеризующие шеелит-кварцевый тип руды, на 80 % представлены серым кварцем, с гнездообразными скоплениями 1–1.5 см серицита, 20 % – мелкозернистым шеелитом (буровато-желтого цвета), размер скоплений зерен 1–3 мм, в тесном сростании с кварцем, серицитом, мусковитом. Встречаются единичные гнезда 1–4 мм пирротина, единичные вкрапления арсенопирита, халькопирита. Ассоциации шеелита с серицитом, мусковитом относятся к труднообогатимым сросткам относительно шеелит-кварцевой ассоциации.

В образцах шеелит-арсенопирит-кварцевого подтипа 90–80 % приходится на серебристо-серый арсенопирит (отмечено наличие сростания кристаллов 1–5 мм), 9–18 % составляет кварц, 1–2 % – альбит, размер кристаллов 3–4 мм, единичные зерна халькопирита. Шеелит-пирротиновая руда сложена на 80 % пирротином, 18 % – кварцем (белый, темно-серый с жирным блеском), 2 % – халькопиритом. Структура массивная, текстура пятнистая, скопления неправильной формы зерен шеелита и халькопирита (зеленовато-золотистый), шеелит до 1–1.5 см. Ассоциации минералов в сростках: кварц-пирротин-халькопирит, кварц-пирротин, кварц-халькопирит-пирротин, пирротин-халькопирит. Образцы шеелит-халькопирит-пирротиновой руды состоят на 50–20 %

Таблица 2. Распределение руды и пород в кернах геологического картирования.

Типы и подтипы руд и породы	Мощность слоев, м min-max значение	Сод. WO ₃ , Изв., %
Шеелит-кварцевая и шеелит-сульфидная руда (Q-Shl и Shl-Q-S)	0.4–9.5	<u>0.2–4.5 (25*)</u> 75.9–96.0
Прожилково-вкрапленная руда и породы в т.ч.		
Скарн пироксеновый ((Px)скарн)	0.6–15	<u>0.1–1.5</u> 15.5–89.4
Роговики скарнированные (скарнированный (Amf) роговик)	1.2–14.5	<u>0.02–(0.17)–1.0</u> 0(28.3)–88.0
Роговики биотитовые ((Bt) метасоматит)	0.8–18.1	<u>0.01(0.11)–2.0</u> 0(50.5)–93.7
Кварцевые метасоматиты	1.0–11.8	<u>0.02(0.14)–0.7</u> 0(68.6)–90.4
Известняки	0.5–7.5	<u>0.01–0.08</u> 0
Гранодиориты	1.2–2.5	<u>0.01(0.15)–0.5</u> 0(55.8)–75.0

Примечание. * – Присутствует грейзеновая руда. Извлечение в шеелитовый концентрат определено при тестировании чистых типов на обогатимость. Извлечение из скарна и скарнированных роговиков существенно колеблется от исходного содержания кальцита.

из халькопирита зеленовато-желтого (золотистого) цвета, с коричневатой-синей побегалостью, 35–50 % – пирротина темновато-серебристого цвета, 10–15 % – кварца (кварц серый с жирным блеском, белой побегалостью), 5–15 % шеелита. Структура массивная, текстура пятнистая, отмечено неравномерное скопление зерен разных минералов от 3–4 мм до 1–3 см (Минералогический анализ с.н.с. Лаврик Н.А.). В шеелит-кварцевой руде, наряду с традиционной ассоциацией шеелит-кварц в метасоматических типовых рудах, отмечаются вкрапления шеелита в окварцованных породах, состав материнских пород может быть различным (скарн, скарнированный или биотитовый роговик, кварциты). В шеелит-кварц-сульфидных рудах наблюдаются реликты скарновых минералов, а иногда и реликтовые участки скарнов, что приводит к образованию труднообогатимых сростков шеелита с пироксеном, амфиболом, хлоритом (шлифы 6, 17–20). В рудах шеелит-кварцевого и шеелит-сульфидного типа шеелит представлен только зернами идиоморфного облика (дипирамидальные кристаллы), которые имеют четкое очертание углов и граней. Размер кристаллов составляет от 0.03 мм до 2(3) мм, редко встречаются вкрапленники размером более 1.5 см.

На шеелит-кварцевый и шеелит-сульфидный тип руд приходится 10–15 % от массы шихты текущей добычи и 70–75 % – по распределению шеелита. Фотографии шлифов шеелит-кварцевой и шеелит-сульфидной руды представлены в таблице 3.

Шеелит находится в виде очаговой вкрапленности в кварцевых жилах, окварцованных участках

геденбергитовых скарнов, на границе кварц-сульфид, реже шеелит встречается в сульфидных, где размер зерен гораздо мельче 0.03–0.2 мм, а форма более округлая, как бы с оплавленными углами и ребрами. Крупные кристаллы шеелита часто трещиноваты, по трещинкам развиваются сульфиды, кварц, кальцит.

В грейзенах и шеелит-кварцевых прожилках по пироксенам шеелиты часто содержат пойкилитовую вкрапленность идиоморфных микрокристаллов апатита, в сульфидных рудах иногда присутствует пойкилитовая вкрапленность апатита < 0.1 мм (шлиф 19), что способствует в какой-то степени росту потерь шеелита при обогащении.

В грейзенах по полевошпатовым метасоматитам шеелит часто замещает плагиоклазы, а в самих полевошпатовых метасоматитах выполняет интерстиции между идиоморфными кристаллами апатита. Макроскопически шеелит имеет белый цвет с сероватым (парагенезисы с кварцем и слюдами) или желтоватым (парагенезисы с сульфидными) оттенком. В кварц-apatит-полевошпатовых прожилках (мощностью до 4 см), локализованных в гранитоидах штока, встречаются шеелиты с коричневой окраской. Иногда шеелиты такого цвета наблюдаются и в центральных частях крупных (более 1 см) кристаллов с зональным строением. Минеральный состав образцов представлен в таблице 4.

Существенных изменений минерального состава руд, структурно-текстурных особенностей, размера зерен шеелита в образцах, представляющих основные типы руд, не отмечено.

Таблица 3. Фотографии шлифов метасоматических руд.

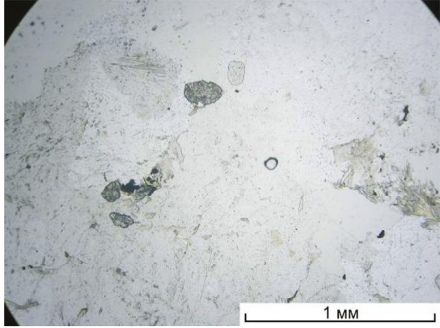
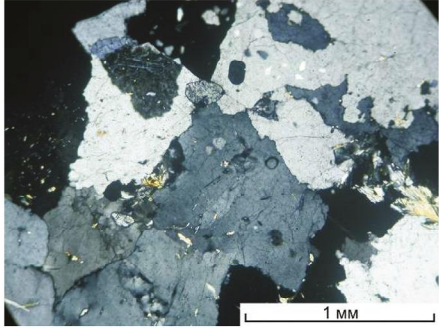
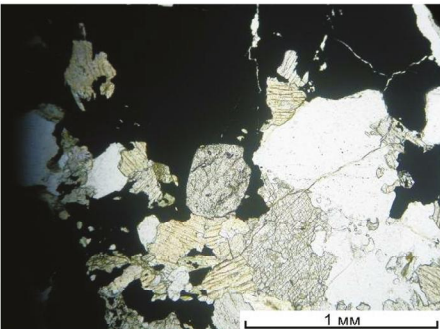
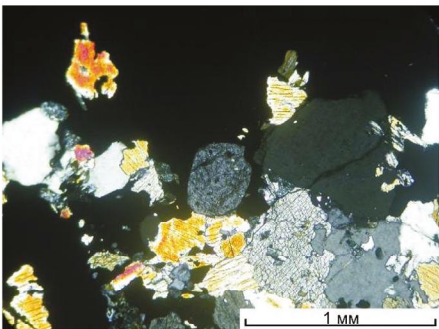
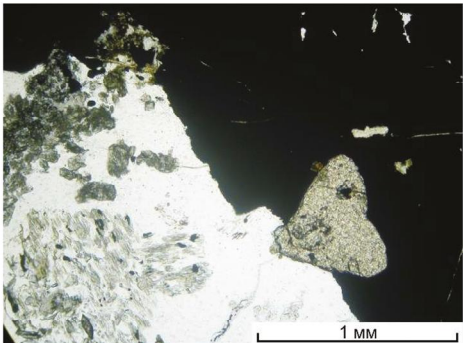
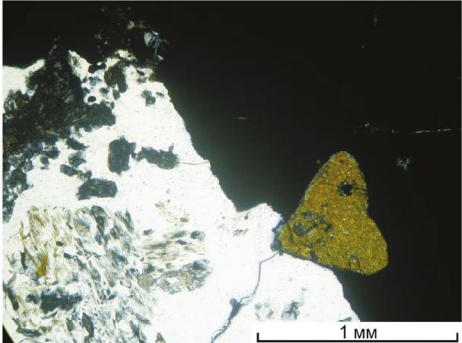
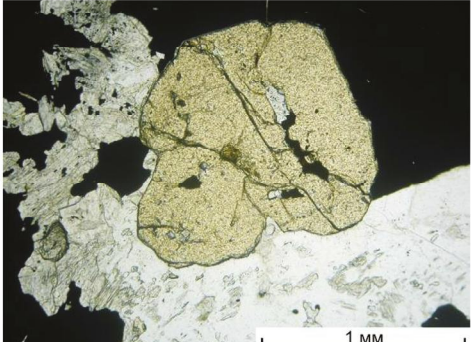
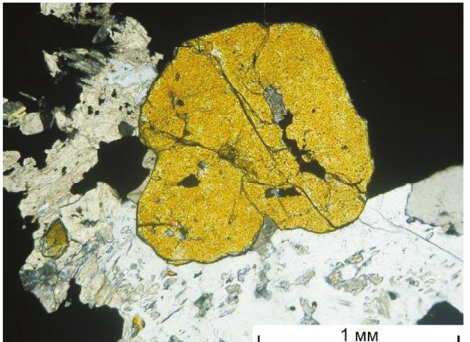
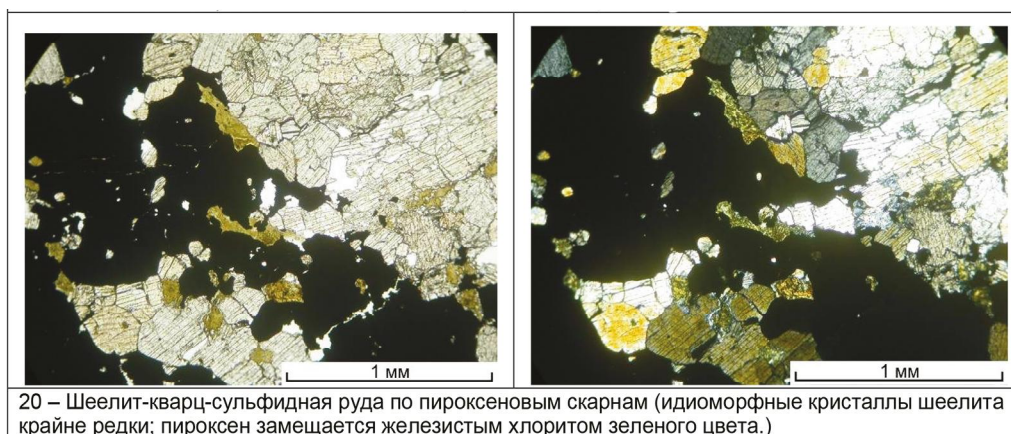
Николи параллельные	Николи скрещенные
Шеелит-кварцевая руда	
	
6 (№ шлифа) – Апатит-шеелит-кварцевая порода (по гранитам?; аллотриоморфнозернистое строение кварца)	
Шеелит-кварц-сульфидная руда	
	
17 – Шеелит-кварц-сульфидная руда по пироксеновым скарнам	
	
18 – Шеелит-кварц-сульфидная руда по пироксеновым скарнам (в кварце наблюдаются реликты пироксена, часто замещенного амфиболом)	
	
19 – Шеелит-кварц-сульфидная руда по пироксеновым скарнам (идиоморфные кристаллы шеелита с пойкилитовыми вкраплениями апатита и реликтами пироксена)	

Таблица 3. (Окончание).



При исходном содержании WO_3 в шихте текущей добычи 0.32–0.66 % доля богатой руды (содержание WO_3 1.4–3.2 %) изменялась в интервале 9.5–15 %. При этом распределение шеелита в богатую руду с высоким извлечением шеелита в конечный концентрат (93–90.5 %) составляло 42–73 %, что сказалось на изменении извлечения шеелита из шихты в пределах 78.5–83.6 %.

В прожилково-вкрапленной руде с глубиной возрастает доля скарнов и скарнированных роговиков при сохранении основных характеристик: вида оруденения, типа пород, содержания полезных и вредных компонентов. К прожилково-вкрапленным рудам относятся шлифы 11, 4, 7, 10 (классификация по типам руд выполнены минералогом Суховой Н.М.). Фотографии шлифов представлены в табл. 5.

В последнее время отмечено увеличение содержания шеелита в прожилково-вкрапленных рудах. Интервалы колебаний содержания основных элементов по керновым пробам: 0.02–1.5 % WO_3 , 0.02–0.2 % Cu, 0.01–0.15 % As, 1.5–3.0 % S, 8.5–25 % $CaCO_3$.

Шеелитовое оруденение в скарнах очень неравномерное. В основном бедное, рассеянное содержание WO_3 0.05–0.5 %, среди которого встречаются участки мощностью (1–3 м) с богатой шеелитовой вкрапленностью и содержанием WO_3 1–5 %, редко до 7–8 %, приуроченные к интенсивно сульфидизированным и окварцованным зонам, кварц-карбонатным прожилкам и их зальбандам. Вкрапленность шеелита 0.05–0.2(1.0) мм, кристаллы идиоморфной формы (шлиф 10). В измененных породах (скарны, скарнированные роговики, кварциты) вдоль прожилков и по периферии очаговых зон (шлиф 7, 10) шеелит находится в виде ксеноморфных зерен (соотношения идиоморфного и ксеноморфного шеелита 10:1) размером от 0.01(0.02) мм до 0.1(0.2) мм. Количество зерен шеелита ксеноморфного облика размером < 0.01 мм

составляет около 15 % (шлиф 7). В скарнах появляется рассеянный шеелит по массе породы (шлиф 11–12, табл. 1). Вследствие ксеноморфной формы зерен шеелита, наблюдается извилистость и зазубренность его границ в ассоциациях, что ухудшает раскрываемость сростков в процессе измельчения руды.

Характерной чертой скарнов и сканированных роговиков является повышенное содержание кальцитов. Линзы известняков встречаются редко, причем возросла степень их мраморизации.

В скарнах кальцит представлен тонкой кристаллической пропиткой по плоскостям трещиноватости и спайности в виде микропрожилков, часто совместно с кварцем. Извлечение шеелита и получение кондиционного концентрата существенно зависит от содержания кальцита в руде.

Разубоживающая порода – биотитовые роговики и гранодиориты представлены шлифами 2, 5, 14, 15 (табл. 6).

Интервалы колебаний содержания основных элементов по керновым пробам для пород: 0.01–2.0 % WO_3 , 0.04–0.18 % Cu, 0.02–0.11 % As, 0.3–2.0 % S, 0.5–8 % $CaCO_3$. В породах увеличилось количество как благоприятных шеелит-сульфидных прожилков (шлифы 5, 14) с идиоморфными кристаллами, так и шеелита ксеноморфного облика в околожилвных пространствах, примыкающих к жилам с высокими концентрациями шеелита, где образуются труднообогащаемые ассоциации шеелита с биотитом, амфиболом, пироксеном. Отмечено присутствие шеелита в объеме породы (шлифы 14–15, табл. 6).

Шеелитсодержащие руды перерабатываются по традиционной флотационной технологии; селективное извлечение шеелита из тонковкрапленных руд является сложной технологической задачей [1–2,7,17–19]. На основе полученных данных о вещественном составе исходной руды и показателей обогащения

Таблица 4. Минеральный состав образцов горизонтов 230–215, %.

№ шлифа	Px (Amf)	Q (Pl)	Ca	Chl	Mu (Bt)	% рудн.	Po (Cp)	Py (Ars)	Shl (Ap)	Sfn
6	<u>1–2</u> (2–3)	85–90	1	1–2	1	1	Ед.	<u>Ед.</u> (1–2)	<u>1</u> (1–2)	Ед.
16	<u>10–15</u> (2–3)	35–40	Ед.	1	-	40–45	<u>40</u> (1–5)	-	<u>5–7</u> (1–2)	-
18	<u>1–2</u> (5–10)	20–25	10–15	1–2	-	55–80	<u>55</u> (1–2)	-	<u>5–6</u> (Ед.)	-
19	<u>-</u> (10–15)	35–40	5–10	1–2	-	45–50	<u>45</u> (5–7)	-	<u>5–6</u> (Ед.)	-
20	<u>65–70</u> (Ед.)	1–2	1–2	-	-	30–35	<u>30</u> (1–2)	-	-	-
11	<u>85–90</u> (1)	10–15	1–2	-	-	менее 1	Ед.	-	-	Ед.
4	<u>-</u> (15–20)	<u>15–20</u> (10–15)	1	1–2	<u>1</u> 40–50	5–7	Ед.	-	-	1–3
7	-	15–20	4–5	10–15	60–65	5–7	4–5	-	<u>1–2</u> (Ед.)	1
10	<u>-</u> (80–85)	5–10	1	10–12	<u>1</u>	2–3	Ед.	-	-	1–2
2	<u>-</u> (15–20)	<u>20–25</u> (5–7)	2–3	1–2	<u>1–2</u> (50–55)	3–5	Ед.	-	<u>-</u> (Ед.)	1–2
5	<u>-</u> (35–40)	<u>5–10</u> (10–15)	1	5–10	<u>1</u> (40–45)	3–5	1	-	-	(Ед.)
14–15	-	<u>40–45</u> (50–55)	1	3–5	<u>10–15</u> (Ед.)	1	Ед.	-	<u>1–2</u> (2–3)	1

Примечание. Px – пироксен, Amf – амфибол, Chl – хлорит, Bt – биотит, Mu – мусковит, Q – кварц, Po – пирротин, Cp – халькопирит, Py – пирит, Ars – арсенопирит, Shl – шеелит, Ap – апатит, Pl – полевые шпаты (плагиоклаз, калишпат), Sfn – сфен. Другие сокращения: (Ед.) – единичные зерна; (-) – минерал отсутствует; % рудн. – суммарный процент рудных минералов в шлифе.

чистых типов руд выполнен прогноз технологического извлечения шеелита в конечный концентрат ПОФ (табл. 7).

Из шихты при содержании WO_3 в руде 0.78–0.75 %, в интервале сравнения 2004–09.2017 годов, падение ожидаемого извлечения шеелита составило 2.3 % (табл. 7), увеличение доли перераспределения шеелита в разубоживающие породы – на 7.4 %.

В феврале месяце 2017 г. относительно августа месяца того же года прирост распределения шеелита в разубоживающие породы возрос на 15 %, при этом снижение ожидаемого извлечения для шихты с содержанием WO_3 0.67 % составило 3.1 % (с 84.8 % до 81.7 %). Расчетные параметры обогащения имеют хорошую сходимость с реальными показателями работы ПОФ.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных минералого-петрографических исследований прозрачных шлифов метасоматических руд и пород установлено, что в рудах месторождения Восток-2 при снижении горизонтов

добычи не отмечено существенных изменений структурно-текстурных особенностей руды, размера зерен шеелита, степени идиоморфизма, так как основная доля ценного минерала приходится на жилы с высокой концентрацией шеелита идиоморфного облика. Однако с глубиной отмечено увеличение количества ксеноморфного шеелита в околожилных пространствах.

Факторами, затрудняющими обогащение шеелита из шеелит-кварцевой руды, можно считать сокращение грейзеновых руд с крупной и богатой вкрапленностью шеелита, появление в шеелит-сульфидных рудах реликтов скарновых минералов, а иногда и реликтовых участков скарнов, что приводит к образованию труднообогатимых сростков шеелита с пироксеном, амфиболом, хлоритом, слюдами. Выявлены вкрапления шеелита в окварцованных породах, состав материнских пород может быть различным (скарн, скарнированный или биотитовый роговик, кварциты).

В прожилково-вкрапленных рудах и разубоживающих породах наряду с благоприятными для обогащения шеелит-кварц-сульфидными сростками вы-

Таблица 5. Фотографии шлифов прожилково-вкрапленной руды.

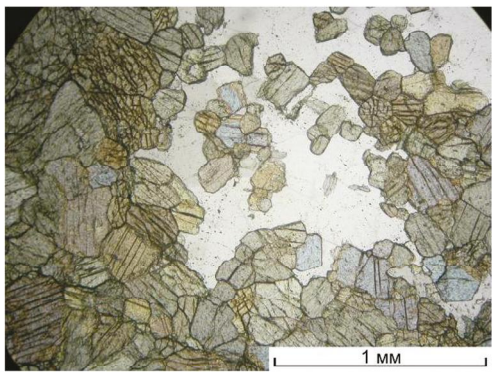
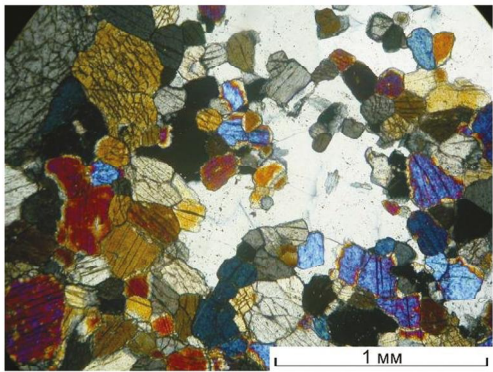
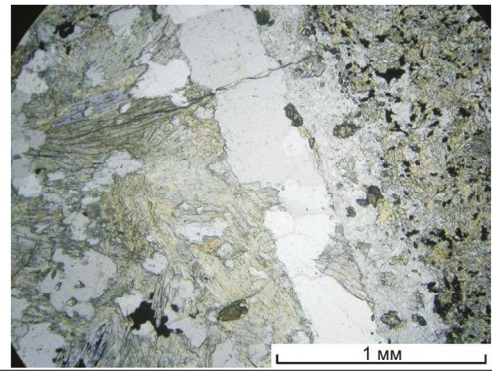
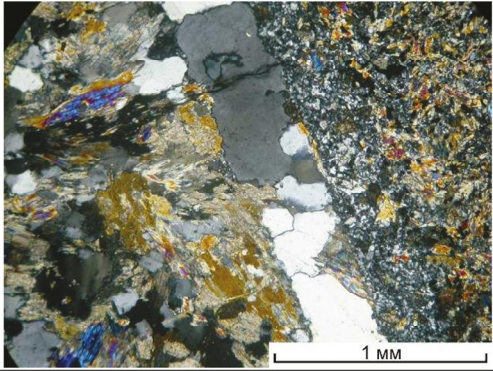
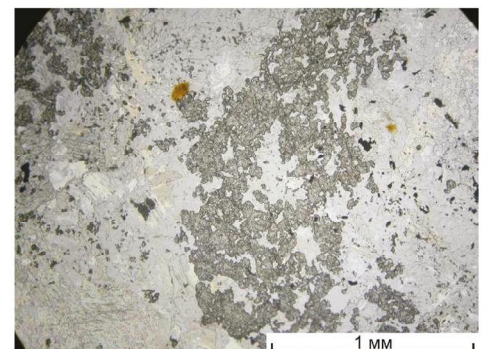
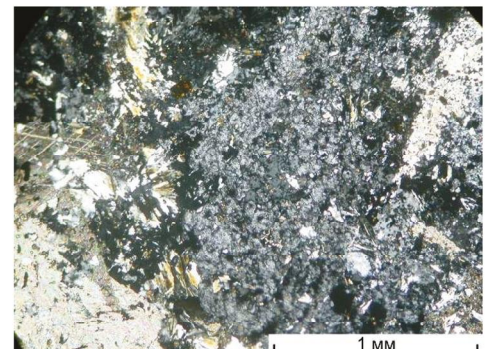

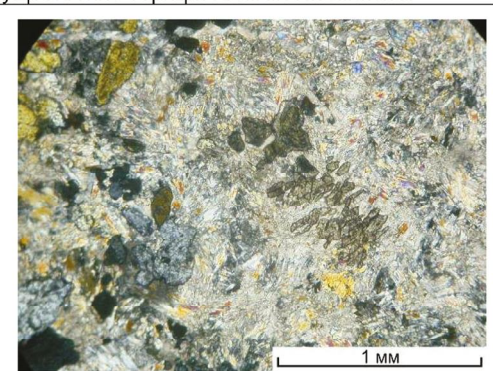
Николи параллельные	Николи скрещенные
Роговик скарнированный	
	
11 – Пироксеновый скарн с гнездом (сингенетичного) кварца (обычно приурочен и шеелит).	
Метасоматиты	
	
4 – Прожилок кварца (шеелит?) с амфиболом и плагиоклазовым околожилным метасоматитом.	
	
7 – Ксеноморфный шеелит в околожилном преимущественно серицитовом метасоматите.	
	
10 – Плагиоклаз-кварц-амфиболовый (тремолит) метасоматит с ксеноморфным шеелитом (по периферии зоны с идиоморфным шеелитом).	

Таблица 6. Фотографии образцов разубоживающих пород.

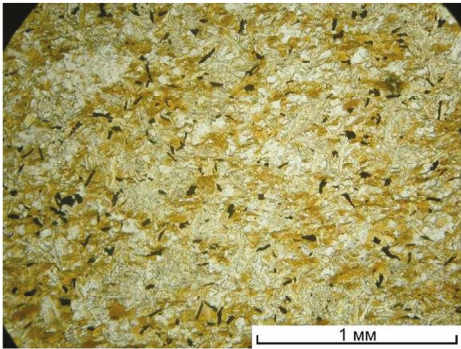
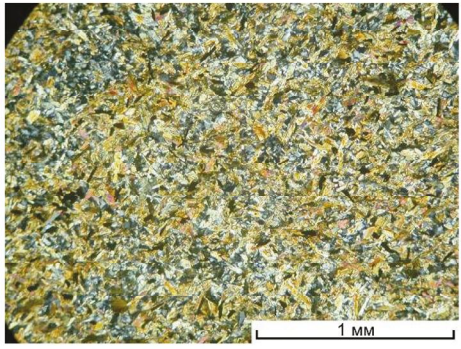
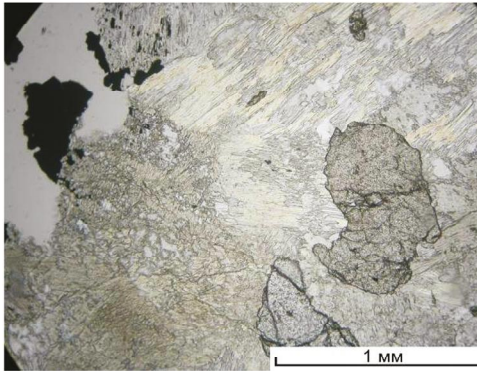
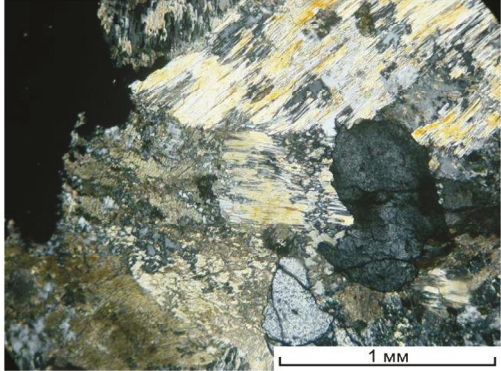
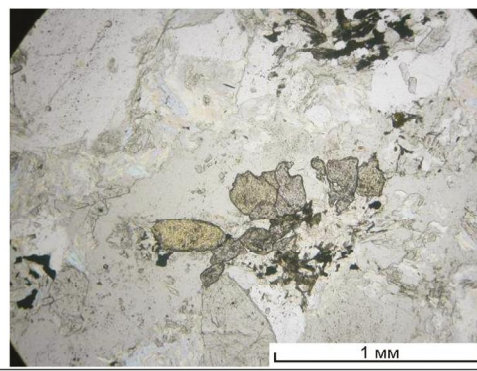
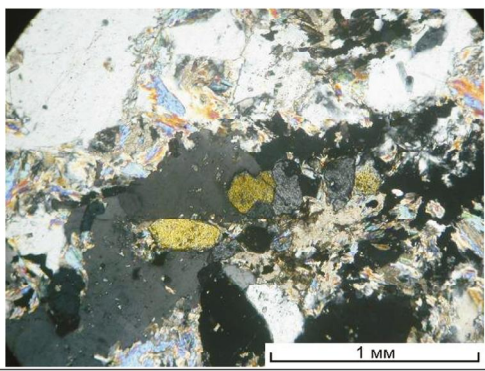
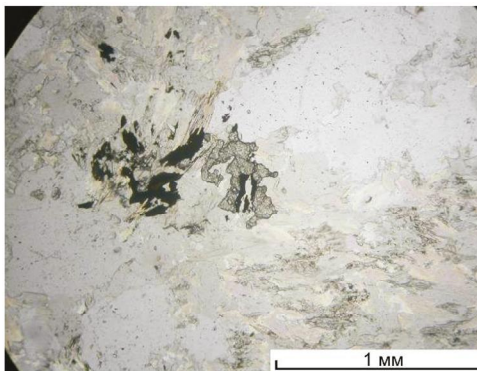
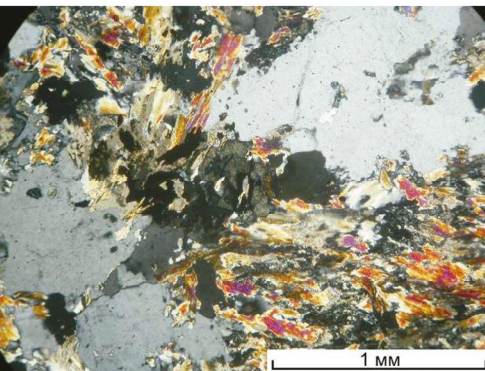
Николи параллельные	Николи скрещенные
Роговик биотитовый	
	
2 – Типовой (биотит, кварц, амфибол, плагиоклаз, рудный)	
	
5 – Прожилки кварц-амфиболового состава с шеелитом в измененных биотитовых роговиках	
Гранодиориты	
	
14 – Шеелит-кварцевый прожилок в измененных гранодиоритах (шеелит идиоморфный).	
	
15 – Ксеноморфный шеелит в зальбанде кварцевого прожилка в измененных гранодиоритах	

Таблица 7. Разборка шихты по типам руд и расчет ожидаемого извлечения, %.

Разборка руды	Богатая руда			Прожилково-вкрапленная руда			Разубоживающая порода			Шихта
	Вых.	Сод. WO ₃	Распр. Изв.	Вых.	Сод. WO ₃	Распр. Изв.	Вых.	Сод. WO ₃	Распр. Изв.	
2004	18.39	3.25	<u>76.49</u> 93.5	43.39	0.41	<u>22.60</u> 75.4	38.21	0.002	<u>0.91</u> 0	<u>0.78</u> 88.6
09.2017	15.26	3.95	<u>74.16</u> 93.1	39.56	0.33	<u>17.54</u> 71.6	46.18	0.14	<u>8.30</u> 56.5	<u>0.75</u> 86.3
02.2017	16.75	2.43	<u>61.10</u> 92.2	40.12	0.25	<u>15.18</u> 59.1	43.13	0.37	<u>23.72</u> 69.2	<u>0.67</u> 81.7
08.2017	17.09	2.96	<u>75.48</u> 92.9	40.54	0.26	<u>15.50</u> 60.6	42.37	0.14	<u>9.02</u> 58.7	<u>0.67</u> 84.8

Примечание. Выход основных типов руды, содержание WO₃ и распределение шеелита в данный тип, извлечение шеелита в конечный концентрат. Изв.* – расчетное извлечение шеелита в концентрат из шихты.

явлен шеелит ксеноморфного облика в околожильных пространствах, примыкающих к жилам с высокими концентрациями шеелита, труднообогатимые ассоциации шеелита с биотитом, амфиболом, пироксеном. Отмечено присутствие рассеянного шеелита в объеме пород.

В шихте текущей добычи, относительно руды 2004 г., сократилась доля шеелит-кварцевой и шеелит-сульфидной руды. Увеличилось распределение шеелита в разубоживающие породы на 7,5–15 %, разница ожидаемого извлечения в шеелитовый концентрат составила – 2,3–3,1 %. Получена хорошая сходимость прогноза технологического извлечения шеелита в концентрат и реальных показателей обогащения Приморской фабрики.

Исследования по повышению контрастности поверхности кальцийсодержащих минералов выполнены при поддержке гранта РФФИ № 17-05-00241.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абрамов А. А., Хоберг Х. Механизм и закономерности влияния генетических особенностей минералов на их адсорбционные и флотационные свойства // Цветные металлы. 2008. № 2. С. 26–34.
- Барский Л. А., Кононов О.В., Ратмирова Л.И. Селективная флотация кальцийсодержащих минералов. М.: Недра, 1979. 232 с.
- Гвоздев В.И. Вольфрамоносные скарны: месторождение Восток-2; месторождение Лермонтовское // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2006. С. 630–637.
- Гвоздев В.И. Магматические породы рудообразующих систем скарново-шеелит-сульфидных месторождений Востока России // Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего востока: рудообразующие системы месторождений комплексных и нетрадиционных типов руд. Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2005. (Материалы науч. конф. Т. 1. С. 33–36).
- Гвоздев В.И., Федосеев Д.Г., Гуриков А.В., Садкин С.И. и др. Минералогия сопутствующих элементов руд скарново-шеелит-сульфидного месторождения Кордонного (Приморский край) // Тихоокеан. геология. 2014. Т. 33, № 3. С. 53–67.
- Доклад: «Experience with a sensor-based sorting plant separating coarse scheelite ore» ITIA's 23rd Annual General Meeting / Vienna, Austria, 2010.
- Конов О.В., Кошуг Д.Г., Нестеров И.В. Неоднородность минералов и природа ограниченного изоморфизма ряда шеелит-повеллит // Неоднородность минералов и рост кристаллов. М.: Недра, 1980. С. 128–134.
- Рассказов И.Ю., Грехнев Н.И., Александрова Т.Н. Техногенные месторождения в отвалах горно-обогатительных комбинатов Дальневосточного региона // Тихоокеан. геология. 2014. Т. 33, № 1. С. 102–115.
- Саматова Л.А., Гвоздев В.И., Киенко Л.А. Минералогические особенности месторождения Скрытое и перспективы их обогащения (Приморский край) // Тихоокеан. геология. 2011. Т. 30, № 6. С. 83–96.
- Саматова Л.А., Шепета Е.Д., Гвоздев В.И. Минералогические особенности и обогащение бедных шеелитовых руд Приморья // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2012. № 3. С. 152–161.
- Соловьев С.Г. Закономерности образования и размещения скарновых месторождений вольфрама в фанерозойских орогенных поясах: Автореф. д-ра геол.-минер. наук. М., 1997. 47 с.
- Степанов Г.Н. Скарны и грейзены месторождения Восток-2. Минералогия и геохимия вольфрамовых месторождений. Л.: Изд-во ЛГУ, 1971. С. 234–242.
- Степанов Г.Н., Гвоздев В.И. Минералогия и геохимия компонентов в рудах скарново-шеелитовых месторождений Дальнего Востока // Новые данные по минералогии Дальнего Востока. Владивосток: ДВО АН СССР. 1987. С. 49–55.
- Степанов Г.Н. Минералогия, петрография и генезис скарново-шеелит-сульфидных месторождений Дальнего Востока. М.: Наука, 1977. 178 с.
- Ханчук А.И., Раткин В.В., Рязанцева М.Д. и др. Геология и полезные ископаемые Приморского края. Владивосток: Дальнаука, 1995. 66 с.

16. Ханчук А.И. Палеогеодинамический анализ формирования рудных месторождений Дальнего Востока России // Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 5–34.
17. Шепета Е.Д. Разработка метода селективной десорбции собирателей с поверхностно-кальциевых минералов и технологии флотации тонкозернистой фракции шеелита из вольфрамовых руд месторождения Восток-2: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1987.
18. Gvozdev V.I. The Arminsky ore district. Metallogeny of the Pacific Northwest: tectonics, magmatism and metallogeny of active continental margins. Vladivostok: Dalnauka, 2004. P. 87–97.
19. Ignatkina V.A. Experimental investigation of change in the contrast between flotation properties of calcic minerals // J. Mining Scie. V. 53, N 5. P. 897–906. DOI: 10.1134/S1062739117052933.
20. Haslam A. Developments in the Tungsten Industry- Australia. 21-st ITIA Annual Gener Meeting. Xiamen. China, 2008.
21. Pretz T., Wotruba H., Nienhaus K. Applications of senso-based sorting in the raw material industry. Shaker Verlag, Aachen, 2011.
22. Nienhaus K., Pretz T., Wotruba H. Sensor technologies: Impulses for the raw materials industry. Shaker Verlag, Aachen, 2014.

Рекомендована к печати С.Ю. Рассказовым

после доработки 29.05.2019 г.

принята к печати 08.07.2019 г.

E.D. Shepeta, V.I. Gvozdev L.A. Samatova, A.A. Orekhov

Use of elemental composition of ores for prediction of technological parameters of mineralization

Elemental composition of typical metasomatic rocks and currently mining ores of the Vostok-2 deposit have been studied. The mineralogical-petrographic analysis revealed characteristic relationship of minerals. «Clean» ore types were tested on dressability using drilled cuttings. It has been found that higher loss of scheelite is conditioned by an increase in the content of unfavorable associations of scheelite with pyroxene, amphibole, and mica, as well as by an emergence of scattered scheelite in the bulk of the host (diluting) rocks.

Key words: scheelite-sulfide copper-tungsten skarn deposit, mineralogical-petrographic method, elemental composition of ores, flotation, southern Far East, Russia.