ISSN 0135-3500. Зап. Ленингр. горного ин-та. 1990. Том 121.

УДК 553.463'685:553.068.4

В.А.РОМАНОВ, Л.И.ЛЫКОВ, С.С.РУССКИХ,
Г.Н.БОГДАНОВА, А.Ю.АШИХМИН, Ю.А.ЛЕПИНА,
Е.И.ПИЛЬДИШ

ПРАКТИКА ВЫДЕЛЕНИЯ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ В РУДАХ ВЕРХНЕКАЙРАКТИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Охарактеризована и соотнесена с горизонтом дезинтеграции и восстановительных процессов зон гипергенеза „переходная зона" месторождения. Опробованы визуальные и минералогические критерии определения границ интервалов, характеризуемых пониженными извлечениями из руд триоксида вольфрама.

По результатам разведки Верхнекайрактинского редкометального надкупольного штокверка на месторождении выделены зона окисления щебенисто-гидрослюдистого профиля и первичные руды. Граница между ними оказалась зазубренной, но резкой, отбиваемой даже визуально по исчезновению окисленного пирита, что коррелируется со скачкообразным изменением фазового состава [1, 6] и технологических показателей руд. В верхней части залежи первичные руды, несколько обогащенные глинистыми минералами и фторидосульфатами, количество которых постепенно убывает с глубиной (материалы В.И.Степанова, Л.И.Лыкова, В.И.Чернова, О.М.Тюгая и др.), получили название „переходная зона". Данные о пониженных технологических свойствах руд послужили толчком к более полному их изучению.

Месторождение, структурно приуроченное к зоне сочленения Каманкарысуйского антиклинория с Успенским синклинорием [3], отличается плотной сетью разрывных нарушений разного порядка – от ограничивающих рудную залежь в пространстве, к расчленяющим ее на крупные пластины, до сети сближенных трещин. Пирит-шеелитовое с вольфрамитом, молибденитом, самородным висмутом и халькогенидами висмута и меди оруденение сконцентрировано в крутопадающих кварцевых, полевошпат-кварцевых, мусковит-кварц-флюоритовых прожилках. Штокверк наложен на тонкопереслаивающуюся песчано-алевролитовую толщу с заключенными в ней небольшими магматическими телами габбро-диоритового состава и интенсивно преобразованную в слюдистые сланцы (метаалевролиты), метапесчаники и метагабброиды при пропилитизации и региональном, а на глубоких горизонтах и контактовом, метаморфизме. Сопряженные с рудообразованием процессы сформировали слюдисто-кварцевые метасоматиты и привели к обогащению пород хлоритами, пиритом и кварцем [4, 5].

Для получения параметрических характеристик переходной зоны авторами проведен комплекс полевых, петрографо-минералогических, химических, термогравиметрических, химических фазовых, рентгенофазовых и электронно-микроскопических исследований материала большого числа рядовых проб

и 24 лабораторных проб, отобранных из керна 60 скважин и из опытного карьера при задирковом и бороздовом опробовании. Изученный объем пород на 50 % состоял из слабо гипогенно-измененных метапород, II % представляли интенсивно пропилитизированные их разности, 30 % заняли слюдисто-кварцевые метасоматиты и 9 % – жильный материал, что близко к генеральной для месторождения распространенности пород. Несмотря на наличие около 100 минералов, основные вариации вещественного состава руд определяются соотношениями кварца, полевых шпатов, биотита и серицита, флюорита, которые обусловлены литологическим составом и глубиной гидротермально-метасоматических изменений пород. Пропилитизированные разности относительно обогащены биотитом, хлоритами, эпидотом, клиноцоизитом, минералами актинолитового ряда. В слюдисто-кварцевых метасоматитах сокращается роль биотита и полевых шпатов на фоне роста содержаний серицита, мусковита, кварца, флюорита и пирита. Топаз, берилл, цеолиты и рудные минералы в основном связаны с прожилками. Количества и вариации содержаний технологически вредных минералов (карбонаты, гипс, флюорит, глинистые минералы) незначительны.

По данным полевых и петрографо-минералогических наблюдений руды переходной зоны отличаются от первичных следующими характеристиками. Во-первых, в них отмечаются полосы и пятна, объединяющиеся в участки 10–15 м в поперечнике, белобато-серых осветленных пород (не встречены в метагабброидах). Отдельные полосы осветления часто совпадают со сланцеватостью пород, но участки их концентрации контролируются зонами трещиноватости северо-западного и северо-восточного простираний. В метаалевролитах и алевропесчаниках осветление приводит к потере их прочности с разрушением в мелкую дресву при незначительных нагрузках; прочность метапесчаников меняется незначительно. Шлифы из осветленных пород характеризуются распространенностью (80–100 % поверхности) оптически недиагностируемого тонкодисперсного материала, который в алевролитах пропитывает весь объем, а в песчаниках тяготеет к цементу. Исчезают темноокрашенные слюды, уступая место серициту, часть которого имеет пониженные относительно эталонных показатели преломления и обладает едва заметным беловато-серым дихроизмом. Выход класса –5 мкм при отмывке естественной дресвы осветленных пород составляет 7–24 %. Во всей совокупности пород переходной зоны основу материала классов крупности –44, –10, –5 мкм составляют несколько гидратированные биотит и мусковит (до железистого мусковита), кварц и, реже, полевые шпаты. В 21 пробе осветленных пород глинистые минералы (каолинит, монтмориллонит, смешанослойные монтмориллонит-каолиниты) отмечены 10 раз при следующем содержании: следы – до 0,1 %; уверенное преобладание гидрослюд над слюдами наблюдалось в одной пробе в классах –10, –5 мкм; гидроксиды железа и марганца встречались спорадически. Таким образом, осветление, точнее выветривание, пород ниже зоны окисления выразилось в формировании дисперсной смеси кварца и в неопределенной степени гидратированных слюд.

Во-вторых, для переходной зоны типично развитие плотной сети разноориентированных, но преимущественно северо-западных крутопадающих и северо-восточных с юго-восточным (40–60°) падением открытых трещин, зон дроб-

ления и примазок в скрытых трещинах, выполненных светло-кремовым дисперсным рыхлым материалом переменного состава. В 40 соскобах определены следующие минералы, %: каолинит – 25, монтмориллонит – 27, геарксутит и флоренцит – по 6–8, в сумме 14, гипс и ангидрит – по 4–6, в сумме 10, гидрослюды – 6, прозопит и клиноптилолит – в сумме не более 4. Помимо мономинеральных выделений каолинита, монтмориллонита, смешанослойных монтмориллонит-каолинитов, флоренцита и геарксутита отмечены и смеси: каолинит-монтмориллонит ± гидрослюды, гипс, ральстонит, геарксутит; каолинит, флоренцит; кридит, ральстонит, ангидрит ± гетит, прозопит; ральстонит, ангидрит ± гипс, ярозит; ральстонит, клиноптилолит, каолинит. Содержание подобной дисперсной массы в представительной пробе руды не превышает в сумме 0,2 %. Компоненты минералов вынесены, включая механическое перемещение, из зоны окисления и переотложены в трещинах.

Признано типичным обогащение переходной зоны кридитом. При содержании по массе до 2,5 % количество прожилков кридита мощностью более 1 мм достигает 0,5–1,0 шт./м. Минерал представлен разностями, по крайней мере, двух возрастных групп. Более ранний кридит отлагался в прожилках полосчатого и параллельно-шестоватого строения, сложение его мономинеральное или, реже, с ядерными выделениями темно-фиолетового флюорита. Доминируют прожилки, согласные со сланцеватостью пород, северо-восточного простирания с коленчатым (30–70°) падением на юго-восток. Свиты прожилков не контролируются участками распространения осветленных пород или участками концентрации трещин с дисперсным выполнением, но прослеживаются далеко в типично первичные руды. Вероятно, мы имеем дело с поздним продуктом гидротермальной деятельности. Более поздний и типоморфный для переходной зоны кридит желваковый, конкреционный, мелоподобный и, реже, корковый) развивается в тектонически нарушенных ранних кридитовых прожилках, формируется в зонах дробления и примазками в скрытых трещинах. Разнообразные по ориентировке участки обогащения переотложенным кридитом тяготеют к выветрелым породам.

Наконец, в переходной зоне довольно многочисленны охристые пленки и выделения, приуроченные к трещинам, рудным прожилкам, поверхностям отдельных кристаллов пирита, которые сложены гетитом, гидрогетитом и ярозитом. Типичен здесь и халькозин, реже ковеллин, замещающие халькопирит.

В разрезе зоны выделяются две подзоны. Верхняя характеризуется широким распространением гипергенно-осветленных пород, обилием трещин с дисперсным минеральным выполнением и прожилков разновозрастного кридита. Породы интенсивно трещиноватые и механически непрочные. В керне скважин, за счет легкой разрушаемости пород и выноса рыхлой массы буровым раствором, доминируют обломки осветленных пород, пронизанные скрытыми трещинами с беловатыми примазками, а кридит отмечается в прожилках и в немногочисленных обломках. Нижняя подзона представлена визуально невыветрелыми породами с небольшими участками осветления. Тонкодисперсные минералы концентрируются в скрытых трещинах, поздний кридит практически отсутствует. В керне скважин имеем макроскопически первичные руды с немногочисленными,

но постоянно встречающимися беловатыми примазками в скрытых трещинах, и редкие прожилки раннего кридита.

В ходе поисков критериев определения границ переходной зоны сам характер гипергенных изменений, учет рекомендаций института „Механобр" по изучению выветрелых руд позволяли сконцентрировать внимание на оценке: а) потерь массы навески руды при нагревании до 320 °С, которые обусловлены гидролизом и гидратацией силикатов; б) содержаний железа в силикатной составляющей пород; в) насыщенности руд кридитом; г) фазового состава минеральных форм вольфрама, висмута и меди. Для сравнительного анализа верхней и нижней подзон переходной зоны и первичных руд использованы 76 количественных характеристик, отражающих изменчивость литологического состава, степень и характер метасоматических изменений, трещиноватость, минеральный (39 минералов), химический (23 химических элемента) состав пород и водных вытяжек (пять ионов и pH), разрушаемость (время измельчения), гранулометрический состав и обогатимость руд. Корреляционный анализ, сравнение средних значений показали неразличимость трех выделенных зон и наличие устойчивых корреляционных связей, определяемых только первичным литологическим составом и гипогенными изменениями, по большинству использованных характеристик сравнения. В изменчивости 27 характеристик проявились тенденции, определяемые формированием переходной зоны (табл.I).

Таблица

Вариации некоторых характеристик руд по зонам рудной залежи

Характеристика руд	Подзоны переходной зоны		Первичные руды
	верхняя	нижняя	
Число лабораторных проб	6	12	6
Глубина отбора проб, м	11-44 28; 30	8-81 43; 41	32-112 69; 30
Потери массы при нагревании до 320 °С, %	0,38-1,10 0,56; 44	0,20-0,65 0,37; 31	0,20-0,51 0,33; 40
Потери при прокаливании, %	3,45-5,85 4,34; 24	2,61-4,48 3,58; 18	2,24-3,81 3,08; 20
K_2O, %	0,28-0,75 0,53; 33	0,21-0,43 0,31; 25	0,18-0,44 0,32; 40
MgO, %	2,03-3,20 2,59; 16	2,55-3,52 3,38; 34	3,16-3,60 4,05; 41
MnO, %	0,05-0,06 0,055; 7	0,05-0,07 0,07; 29	0,07-0,08 0,08; 31
CaO, %	0,48-2,22 1,05; 65	0,82-1,94 1,57; 35	1,05-1,64 1,60; 50
P_2O_5, %	0,09-0,16 0,13; 20	0,14-0,16 0,15; 9	0,15-0,18 0,16; 17
Кальцит, сидерит, %	0,00-0,08 0,03; 101	0,00-0,66 0,14; 122	0,07-0,25 0,16; 59
Апатит,	0,21-0,38 0,29; 20	0,33-0,38 0,34; 7	0,28-0,42 0,36; 12

Окончание табл.

Характеристика руд	Подзоны переходной зоны		Первичные руды
	верхняя	нижняя	
Тремолит-актинолит, %	0,00	0,00–0,10 0,01; 150	0,01–0,85 0,26; 119
Магнетит, %	0,00–0,09 0,04; 96	0,00–0,02 0,004; 151	0,01–0,23 0,07; 120
Халькопирит,	0,001–0,03 0,009; 119	0,001–0,19 0,07; 73	0,04–0,10 0,07; 45
	0,02–0,08 0,051; 40	0,00–0,01 0,001; 187	0,00–0,02 <0,001; 98
	6,4–7,1 6,7; 8	0,6–7,8 7,1; 4	7,0–7,7 7,4; 4
Сульфат- вытяжки, 10^3 %	20–51 33; 35	16–41 26; 29	7–21 17; 33
Глинистые минералы, %	0,001–0,05 0,04; 34	0,000–0,05 0,006; 161	0,000–0,05 0,01; 152
Гидроксиды ж	0,001–0,37 0,220; 57	0,000–0,45 0,073; 178	0,000–0,04 0,017; 125
ангидри	<0,05–0,18 0,10; 57	<0,05–0,18 0,05; 89	<0,05–0,05 <0,05
Ярозит,	0,005–0,19 0,05; 72	0,000–0,4 0,005; 68	0,000–0,07 <0,001
Кридит,	0,22–1,42 0,71; 58	<0,01–1,49 0,38; 110	0,00–0,09 0,32; 85
Показатель трещиноватости, %	35–100 75; 10	0–50 15; 51	0–10 5; 49
ыход класса –0,05 мм в дробленой руде, %	17,78–34,80 27,1; 25	14,10–27,7 19,4; 21	15,00–21,67 18,0; 15
Время измельчения до флотационной крупности, мин	2,00–5,50 3,53; 34	2,50–9,00 5,49; 37	3,83–8,17 5,97; 28
Окисленные формы висмута, %	0,001–0,038 0,010; 127	0,001–0,006 0,001; 123	⩽ 0,001 ⩽ 0,001
Доля окисленных форм в сумме висмутовых минералов	21,9–63,8 35,6; 42	16,3–31,0 21,7; 26	11,4–24,2 17,8; 36
Доля халькозина в сумме сульфидов меди, %	20,0–98,9 73,9; 36	0,0–9,1 2,68; 116	0,0–4,7 1,52; 100
Извлечение триоксида вольфрамита в черновой концентрат, %	63,14–79,47 69,01; 9	74,85–91,35 82,01; 6	80,92–85,70 80,53; 9

Примечание. В числителе – пределы значений, в знаменателе – среднее значение и коэффициент вариации в процентах.

Уменьшение с глубиной потерь массы при нагревании, потерь при прокаливании и содержания воды в рудах свидетельствует о накоплении гидратированных минеральных форм в переходной зоне. В ходе ее формирования происходил слабый вынос магния, марганца, кальция, фосфора преимущественно за счет растворения карбонатов, апатита, амфиболов тремолит-актинолитового ряда, слоистых силикатов при максимальном выветривании. Близость содержа-

ний магнетита в верхней подзоне и в первичных рудах, неокисленность, а местами новообразование в кридите пирита, интенсивное замещение халькопирита халькозином в верхней части рудной залежи свидетельствуют о восстановительном режиме системы преобразования руд. Слабо повышенная кислотность и обогащенность растворов сульфат-ионом свойственны рудам в их современном состоянии. Наличие ярозита говорит о сильно кислых и концентрированных растворах и начальной стадии гипергенеза [7], как основных моментах истории возникновения переходной зоны. Однако низкие содержания новообразованных минералов (каолинит, монтмориллонит, более поздний и редкий галлуазит, гидроксиды железа, ярозит, гипс, кридит, висмутит, русселит, тунгстит, ферритунгстит, халькозин и др.) свидетельствуют о малоэффективном преобразовании руд.

Малая измененность пород зоны объясняется, в частности, слабой вертикальной фильтрацией растворов при предпочтительно горизонтальном транспорте продуктов выветривания за пределы месторождения; малым объемом окисленных и растворенных рудных минералов в силу низких их содержаний или незначительной мощности эродированных пород. Первое предположение опровергается резко повышенной трещиноватостью руд переходной зоны, высоким выходом в них дисперсного материала класса -0,05 мм и пониженной прочностью пород (время измельчения руды верхней подзоны в среднем в 1,6 раза меньше, чем первичных руд). Однако характер расчлененности рельефа, наличие родников и водотоков допускает интенсивный вынос растворенных компонентов из зоны гипергенеза месторождения. Вторая гипотеза поддерживается тем, что изучение скважин картировочного бурения позволило выявить исчезновение переходной зоны на участках низкой рудоносности, не содержащих сульфидов. Наоборот, зона максимальной мощности образовалась на участках с повышенными концентрациями пирита, где она контролируется зонами трещиноватости северо-восточного, реже северо-западного простирания, тяготеющими к метаалевролитам.

Однозначное определение границ переходной зоны с использованием большинства анализированных характеристик руд невозможно как в случае лабораторных проб, взятых с определенных интервалов рудной залежи, так и при непрерывном отборе рядовых проб из керна скважин. Слишком часто перекрываются значения величин, характеризующих геологически и технологически разные уровни месторождения. Наглядный тому пример дают вариации потерь массы при нагревании, содержаний воды и окисленных форм вольфрама в рудах (табл.2, 3). Их применение ограничивается областью предположений о наличии переходной зоны. Изменчивость содержаний силикатного железа, информативная при анализе штуфов [2], нивелируется при более объемном опробовании за счет других железосодержащих минералов, от которых невозможно освободиться. Гидроксиды железа, содержание которых выше 0,1 %, отмечены в переходной зоне и в окисленных рудах, в меньших количествах встречаются в любой породе. При общей обогащенности зоны кридитом равные его концентрации возможны и в первичных рудах, и в выветрелых участках в силу разного генезиса минерала.

Таблица 2

Вариации значений потерь массы навески при нагревании до 320 °С в рядовых пробах 22 скважин

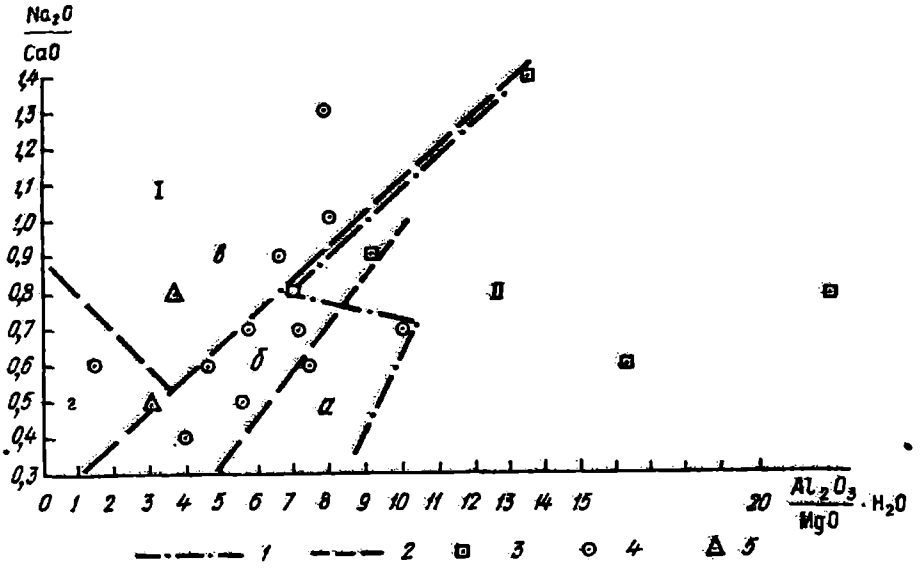
Зона	Пределы значений, % / Среднее, %	Число проб	Распределение проб по классам значений, %				
			<0,20	0,21-0,30	0,31-0,50	0,51-0,70	>0,70
Окисленных руд	0,17-2,80 / 0,78	78	1,3	6,4	17,9	28,2	46,2
Переходная верхняя	0,10-0,75 / 0,39	53	20,8	30,2	20,8	18,8	9,4
Переходная нижняя	0,10-2,35 / 0,34	64	45,9	19,7	18,0	9,8	6,6
Первичных руд	0,10-0,50 / 0,22	50	52,1	35,4	12,5	0,0	0,0

Таблица 3

Вариации содержаний доли окисленных фаз в сумме вольфрамовых минералов в рядовых пробах 22 скважин

Зона	Пределы значений, % / Среднее, %	Число проб	Распределение проб по классам содержаний, %				
			<10	10-20	21-30	31-40	>40
Окисленных руд	0-72 / 32	75	8,0	17,3	21,3	16,0	37,3
Переходная верхняя	0-48 / 17	53	30,2	41,5	22,6	3,8	1,9
Переходная нижняя	0-38 / 15	64	28,6	44,4	20,6	6,4	0,0
Первичных руд	0-50 / 19	49	18,4	55,1	6,1	4,1	16,3

Более приемлем критерий, построенный на определении доли вторичных минералов висмута. Несмотря на их низкие содержания, доля окисленного висмута, превышающая 35 %, безальтернативно определяет руду переходной зоны, а при значениях ниже 20 % – первичные руды. К сожалению, интервал между граничными значениями представляет область неопределенности. Исключительно чувствительным индикатором гипергенных изменений является халькозин. Если доля этого минерала в сумме сульфидов меди превышает 10 %, то руда безусловно принадлежит верхней подзоне переходной зоны. Структура корреляционных связей столь чуткого показателя удивительно полно (вероятность 95 %) определяется характеристиками руд, описывающими пространственное положение, степень тектонической и приповерхностной дезинтеграции руд (+0,88 – трещиноватость; +0,65 – выход класса –0,05 мм; +0,66 – глубина от



Вариации химического состава проб (Na, Ca, Mg , Al, H_2O) в зависимости от литологического состава и выветрелости пород

1 – граница полей невыветрелых – I и выветрелых – II (переходная зона) пород; 2 – границы полей (а – метаалевролиты, б – метаалевролит-песчаники, в – метапесчаники, г – метагаббродиты); 3 – пробы из переходной зоны; 4 – пробы первичных руд из геологически выделявшейся нижней подзоны переходной зоны; 5 – первичные руды

поверхности), минеральный (+0,52 – ярозит; +0,60 – гидроксиды железа; +0,66 – глинистые минералы; +0,89 – халькозин, +0,45 – потеря массы навески при нагревании до 320 °С; –0,51 – апатит) и химический (+0,59 – потери при прокаливании; –0,48 – кальцит; –0,51 – марганец и фосфор; –0,53 – магний) составы, механическую прочность (–0,52 – время измельчения руды) и качество (–0,65 – извлечение триоксида вольфрама в черновой концентрат) гипергенно-измененных пород. Тем самым, доля халькозина в сумме сульфидов меди является универсальным показателем степени выветрелости пород.

Менее очевидно определяется по одному или совокупности критериев нижняя граница нижней подзоны переходной зоны. Но в этом и нет необходимости. Пониженное извлечение триоксида вольфрама из руд характерно лишь для верхней подзоны, которую, следовательно, и имеет практический смысл соотносить с переходной зоной. Удовлетворительное решение вопроса о положении переходной зоны в семействе природных разновидностей руд месторождений получено графически (см. рисунок). В общем случае координата натрий-кальциевого отношения характеризует обогащенность руд полевыми шпатами, эпидотом, кальцитом, актинолитом и отражает первичную песчанистость, степень пропилитизации и ороговикования пород. Алюминий-магниевое отношение зависит от изменений, накопленных при грейзенизации и серицитизации в процессе рудообразования, а умноженное на содержание воды включает фактор гипергенной гидратации и гидролиза.

Выводы

1. Переходная зона Верхнекайрактинского месторождения соответствует горизонту дезинтеграции и восстановительных процессов [7] нижних частей зон гипергенеза. Для нее типична незначительная общая интенсивность (при локально-мозаичном вкрапленном распределении участков сильно выветрелых пород) гипергенных преобразований, обусловленных нисходящими кислыми фторидосульфатными растворами, которые возникают при окислении и растворении сульфидов (пирит) и фторсодержащих минералов (флюорит, слюды, первичный кридит). Характерны процессы гидратации и гидролиза первичных минералов, образование каолинита и гидрослюд, отложение фторидо-сульфатов.

2. Переходная зона формируется на участках повышенных концентраций сульфидов, в нашем случае исключительно в пределах контура балансовых руд, где степень ее развития контролируется зонами повышенной трещиноватости, которые преимущественно приурочены к метаалевролитам. Для практических целей с переходной зоной следует отождествлять только ее верхнюю подзону, в пределах которой извлечение полезных компонентов из руд заметно снижается.

3. Максимально объективное определение границ переходной зоны осуществимо визуально по присутствию повышенных количеств вторичных дисперсных минералов и переотложенного кридита в интенсивно трещиноватых рудах и подтверждается граничными значениями минералогических индикаторов гипергенных изменений: долей окисленного висмута и долей халькозина в сумме соответствующих первичных и вторичных минералов. Использованию индикаторов благоприятствует возможность их определения по результатам как минералогического, так и химического фазового анализов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванчук А.В., Левенко Н.Г., Рахимов А.Т. Особенности гипергенных изменений рудовмещающих толщ Верхнекайрактинского месторождения // Геол. рудн. районов и месторожд. твердых полезн. ископ. Казахстана Каз.НИИ минерал. сырья. Алма-Ата, 1984. С. 64-68.

2. Изоитко В.М. Технологическая минералогия вольфрамовых руд. Л.: Наука, 1989. 232 с.

3. Месторождение Верхнее Кайракты / Г.И.Бедров, С.П.Кровяков, В.Г.Ли, Л.Б.Иванов // Металлогения Казахстана. Рудные формации. Месторожд. руд редких металлов. Алма-Ата: Наука, 1981. С. 88-93.

4. О формационной принадлежности околорудных метасоматитов Верхнекайрактинского месторождения / В.И.Черков, С.А.Кайзер, А.В.Иванчук и др. // Сов. геолог. 1984. № 4. С. 90-93.

5. Редкометалльное оруденение Казахстана / Г.Н.Щерба, А.В.Кудряшов, Н.П.Сенчило и др. Алма-Ата: Наука, 1988. С. 99-178.

6. Черков В.И., Киселева В.С. Опыт применения термического анализа для определения минерального состава окисленных руд Верхнекайрактинского месторождения // Типоморфные особенности и технологические свойства минералов рудн. и нерудн. месторожд. полезн. ископ. Казахстана и их практическое значение / Каз. НИИ минерал. сырья. Алма-Ата, 1984. С. 91-96.

7. Яхонтова Л.К., Грудев А.П. Минералогия окисленных руд Справочное пособие. М.: Недра, 1987. 198 с.