

Арсенопирит сложен кристаллами (метакристаллами?) ромбообразной и угловатой формы, с ровными границами. Часто развивается в кварцевых или кварц-сульфидных микропрожилках. Размер кристаллов арсенопирита варьирует от 0,1 мм до 1 мм.

Халькопирит встречается в виде редких зёрен угловатой и неправильной формы, размером до 150 мкм, преимущественно в кварц-сульфидных прожилках. В полосчатых мелко-тонкозернистых рудах халькопирит не наблюдается. Кроме того, данный минерал диагностируется в виде эмульсионной вкрапленности в сфалерите из кварц-сульфидных прожилков. Часто, халькопирит наблюдается в сростках с галенитом. Для этого исследовался рудный слой на предмет изменений руды с целью уточнения состава руд и изменения состава цинка, железистость сфалерита, мышьяковистость арсенопирита, где показания галенита, пирита и арсенопирита остаются в пределах нормы, но сфалерит имеет незначительные колебания, где при увеличении железа уменьшается доля цинка и также наоборот. Также есть изменение содержания цинка и свинца на протяжении от + 96,6 м до + 180 м кривая роста постепенно возрастает, где вскоре резко увеличивается концентрация полезных веществ начиная с рудного интервала 134 м достигая пика на 140,1 м где дальнейшие колебания свинца и цинка связаны увеличением доли железа, кремния что показывает неоднородность состава рудного слоя

Закономерной смены количественных соотношений рудных минералов (пирита и сфалерита) по разрезу рудной залежи (рудного прослоя) не отмечается. Изучено 6 проб. Содержание Fe в сфалерите от 3 % с 134,3 метров и позже повышаясь до 8 % в 162,7 метров, но на последнем образце резко уменьшается до 4 % и S/As в арсенопирите – содержание не изменяется, по данным SEM.

В окончание была проведена парная линейная корреляция, где выявлено несколько геохимических ассоциаций. Первая ассоциация: Zn, Pb, Bi, Cd, Ag. Они образуют главную рудообразующую ассоциацию и очень хорошо коррелируют на всех горизонтах. Вторая ассоциация: V, Cr, Sc. Эти элементы имеют хорошие корреляционные связи между собой, но имеют отрицательные связи с рудообразующей ассоциацией. Третья ассоциация: Ba, Sr, Rb, Zr, Nb. Эта ассоциация не коррелирует со всеми перечисленными ассоциациями, но имеют хорошие связи на протяжении всех горизонтов. Зональность не наблюдается, содержание железа увеличивается по мере увеличения глубины. Получены данные о составе минералов со сканирующего микроскопа с 134,3 метров по 171,7 которые помогут выявлению особенностей химического состава минералов и возможной скрытой зональности.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, грант №22-17-00106.*

#### Литература

1. Гордиенко И. В., Нефедьев М. А. Курбино-Еравнинский рудный район Западного Забайкалья: геолого-геофизическое строение, типы рудных месторождений, прогнозная оценка и перспективы освоения // Геология рудных месторождений. – 2015. – Т. 57. – №. 2. – С. 114-114.
2. Гордиенко И. В. и др. История развития Удино-Витимской островодужной системы Забайкальского сектора Палеоазиатского океана в позднем рифее-палеозое // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51. – №. 5. – С. 589-614.
3. Минина О. Р. Ранние герциниды Байкало-Витимской складчатой системы (состав, строение, геодинамическая эволюция) // Автореферат докторской диссертации. Иркутск. – 2014.

### ПРИМЕНЕНИЕ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ ДИФFUЗНОГО ОТРАЖЕНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РУДОГЕНЕЗА ЗОЛОТА

**Болдина Д. А.**

Научные руководители: профессор Иванов В.П., доцент Тимкин Т.В.

**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия**

Месторождения металлов, в том числе золота, в геологическом понимании – это участок земной коры, где металлы концентрируются благодаря тем или иным природным процессам. Для того, чтобы подобное событие произошло, металл должен быть доставлен к месту формирования месторождения и осажден там. Проблемы переноса металлов и концентрирования, по существу, – центральные проблемы генезиса рудных месторождений [2]. Целью данного исследования является определение тонкого золота в образцах Вернинского месторождения, как типового месторождения золота в черносланцевых толщах.

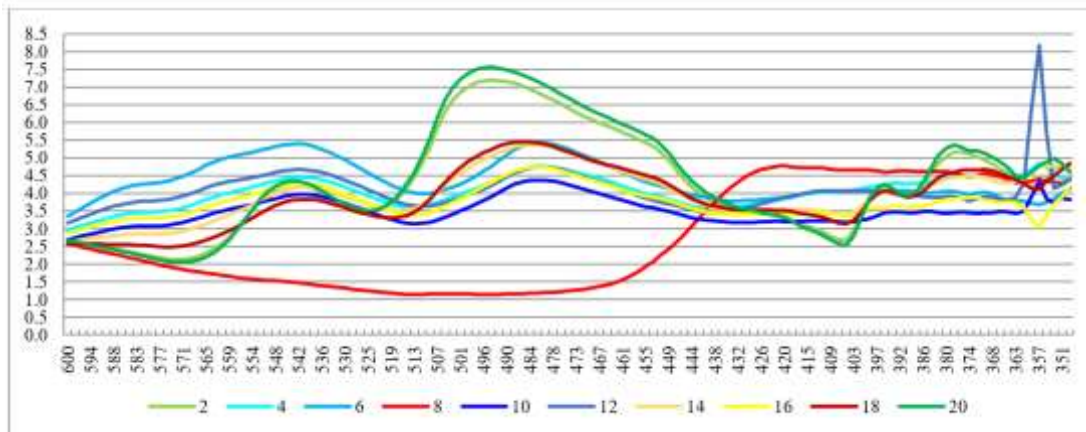
В работе использовался метод инфракрасной спектроскопии диффузного отражения с Фурье-преобразованием (DRIFTS) для порошков в диапазоне волновых чисел 7500–350 см<sup>-1</sup> вместо широко применяемого метода пропускания (FTIR) для таблеток с KBr в диапазоне волновых чисел 4000–500 см<sup>-1</sup>. Обработка спектров проводилась АПК СКАУФВ (аппаратно-программный комплекс структурно-кластерного анализа углефицированных веществ) [2]. Данная методика обработки позволяет определить функциональные структурные единицы (ФСЕ) в углефицированных веществах (УВ): плоскостные ( $\nu_{OCO}$ ,  $\nu_{NH}$ ,  $\nu_{CH}$ ,  $\nu_{CCN}$  и/или  $\nu_{CNS}$ ,  $\nu_{CC}$ ), межплоскостные ( $\delta_{NH}$ ,  $\delta_{CH}$ ,  $\delta_{COC}$ ) и комбинированные ( $\nu+\delta_{inorg}$ ) связи.

Объектом исследований выступили десять образцов, отобранные на Вернинском золоторудном месторождении. По образцам, отобранным в рудной зоне, были получены ИК-спектры, представляющие собой ломанные линии близкой конфигурации, в которых выделены три диапазона: атомарные связи (ближний) 7500–4000 см<sup>-1</sup>, молекулярные связи (средний) 4000–600 см<sup>-1</sup>, металлорганические соединения (дальний) 600–350 см<sup>-1</sup>. Выяснилось, что для выявления тонкого золота можно использовать металлорганические соединения, что хорошо видно на образцах № 2–20, которые различаются друг от друга по спектральным характеристикам.

На основании этого образцы были условно разделены на пять групп. В первую группу (спектры зелёного цвета) вошли образцы № 2 и № 20, находящиеся за пределами рудного блока. Во вторую группу (голубые спектры) образцы

**СЕКЦИЯ 2. РУДООБРАЗУЮЩИЕ СИСТЕМЫ: ПРОБЛЕМЫ МИНЕРАЛОГИИ,  
ГЕОХИМИИ И ПЕТРОЛОГИИ**

№ 4 и № 6, в третью группу (синие спектры) образцы № 10 и № 12, четвёртую группу (жёлтые спектры) образцы № 14 и № 16 и в пятую группу (красные спектры) образцы № 8 и № 18, выделяющиеся среди остальных конфигураций спектрального графика (рис.).



**Рис. Дальний диапазон ИК-спектра (600–350 см<sup>-1</sup>), металлоорганические соединения (МОС), по образцам № 2–20**

Из составленной таблицы 1 видно, что по функциональным структурным единицам (ФСЕ) углефицированные вещества (УВ) группируются, а это указывает на близкие структурные характеристики УВ в выделенных группах. По справочным данным [3] золото в металлоорганических соединениях фиксируется на частотах ИК спектра 2163, 775, 444, 430 см<sup>-1</sup>, которые отражают кластеры [(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub> Au (NCS)]<sub>2</sub>. В исследуемых образцах установлено, полоса спектра 2163 см<sup>-1</sup> соответствует соединению золота в виде валентной связи νCN, полоса 775 см<sup>-1</sup> – νCS, которые характеризуют связи в плоскости молекул, полосы 444, 430 см<sup>-1</sup> – межплоскостными связями δNCS или δCH. Ранними исследованиями была выявлена корреляционная полиномиальная связь между содержанием золота и интенсивностью полос 2163 и 430 см<sup>-1</sup> в виде уравнения  $y = 0,0005x^{2,25}$ , по которому сделан прогноз содержания тонкого золота в образцах УВ (таблица 2).

**Таблица 1**

**Строение УВ образцов по ФСЕ, %**

ФСО	№ образца									
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
νO-C-O	12,6	11,0	7,6	9,0	4,0	20,7	10,2	8,4	5,9	12,6
νNH	3,0	1,4	1,8	5,9	2,6	1,7	1,9	2,1	3,0	2,3
νCH	3,2	2,1	0,9	13,9	1,6	0,9	1,5	1,7	3,5	2,4
νC=C=N	15,2	7,1	6,4	0,50	4,2	12,4	8,7	7,4	8,7	16,8
νC-C	13,8	5,3	5,2	23,4	6,8	4,0	7,6	7,5	12,1	14,7
δNH	4,8	6,5	2,7	16,5	1,1	1,5	2,8	3,0	4,9	6,1
δCH	16,9	3,9	9,5	21,4	9,2	6,1	9,5	9,7	13,2	19,8
δC-O-C	9,7	1,1	5,9	7,9	3,5	3,9	2,2	1,3	3,8	11,0

**Таблица 2**

**Прогноз характеристики проявления оруденения УВ по СКАУФВ**

№ образца	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Au <sub>2163</sub> , г/т	0,69	0,83	1,23	0,14	1,31	1,54	1,01	0,55	0,36	0,88
Au <sub>430</sub> , г/т	0,07	1,91	0,91	0,02	1,11	2,02	0,32	0,85	0,26	0,06
Среднее, Au, г/т	0,38	1,37	1,07	0,08	1,21	1,78	0,67	0,70	0,31	0,47
Ср <sub>2163;430</sub> в ОВ, %	5,80	1,49	1,95	11,00	1,81	1,40	3,00	2,09	3,37	6,07
Т°С прогрева в точках отбора	106	364	171	115	315	218	621	558	264	71
Степень оруденения в точках отбора, ед.	0,07	0,92	0,55	0,01	0,67	1,27	0,22	0,33	0,09	0,08
Прогноз Au, г/т	0,38	1,22		0,08	1,50		0,69		0,31	0,47
Т°С прогрева УВ, по зонам	106	268		115	266		590		264	71
Степень оруденения, ед.	0,07	0,73		0,09	0,97		0,28		0,09	0,08

Используя данные работы [1], были сделаны расчёты палеотемпературы, и выяснилось, что в точках опробования она разная, в выделенных группах образцов она хорошо согласуется с прогнозным содержанием золота.

На этом основании была сделана попытка выделения зон рудопроявления и степени оруденения УВ. Так, в образцах № 4 и № 6 до отложений, представленных образцом № 8, и в образцах № 10 и № 12 температура прогрева соответственно составила 266–268°C, в образцах УВ № 14 и № 16  $T = 590^\circ\text{C}$ . По степени оруденения это величины 0,73 и 0,97 ед., которые, вероятно обеспечат содержание тонкого золота на уровне 1,22 и 1,50 г/т соответственно.

В зоне высокого температурного прогрева  $590^\circ$  величина оруденения на уровне 0,28 ед., что вероятно обеспечит 0,69 г/т тонкого золота. Следовательно, при фактическом содержании золота в данных зонах оруденения можно спрогнозировать концентрацию тонкого золота.

Вывод: применение инфракрасной спектроскопии диффузного отражения с Фурье-преобразованием (DRIFTS) для порошков в диапазоне волновых чисел  $7500\text{--}350\text{ см}^{-1}$  с обработкой спектров АПК СКАУФВ, позволяет определить функциональные структурные единицы (ФСЕ) в углефицированных веществах (УВ): плоскостные ( $\nu\text{OCO}$ ,  $\nu\text{NH}$ ,  $\nu\text{CH}$ ,  $\nu\text{CCN}$  и/или  $\nu\text{CNS}$ ,  $\nu\text{CC}$ ), межплоскостные ( $\delta\text{NH}$ ,  $\delta\text{CH}$ ,  $\delta\text{COC}$ ) и комбинированные ( $\nu+\delta_{\text{inorg}}$ ) связи, а также металлоорганические соединения, которые в комплексе создают предпосылки создания метода, позволяющего прогнозировать зоны и степень оруденения тонкого золота.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 23-27-00013.

#### Литература

1. Иванов В. П., Рычкова И. В. Палеонтологическая и спектрометрическая характеристика фитолейм средне-позднеюрских растений юго-востока Западной Сибири // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2021. – Т. 29. – № 6. – С. 84-95.
2. Кизильштейн Л. Я. Роль органического вещества в образовании месторождений золота (на примере черных сланцев) // Природа. – 2017. – № 10 (1226). – С. 63.
3. ИК-спектры К. Н. спектры КР неорганических и координационных соединений // Пер. с англ. к. х. н. Христенко Л.В., под ред. д. х. н. проф. Пентина ЮА-М.: Мир. 1991г.-536 с. – 1991.

#### ПОВЕДЕНИЕ МИНЕРАЛА ДЕЛЬХАЙЕЛИТА В КИСЛОЙ СРЕДЕ.

Грязнова Д.В., Самбуров Г.О., Яковенчук В.Н., Паникоровский Т.Л.

Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр» Российской академии наук, г. Апатиты, Россия

Дельхайелит,  $\text{K}_4\text{Na}_2\text{Ca}_2[(\text{Si}, \text{Al})_8\text{O}_{19}] (\text{F}, \text{Cl})_2$  был описан в 1959 г. в щелочных лавах вулкана Шахеру в Бельгийском Конго [2]. Немного ранее М.Д. Дорфман описал данный минерал в Хибинском массиве [6], а его повторное исследование показало, что это один и тот же минерал [4]. Открытие М.Д. Дорманом с соавторами в 1979 г. гидродельхайелита,  $\text{KCa}_2(\text{Si}_7\text{Al}) \text{O}_{17}(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  показало, что данный минерал является продуктом гипергенного изменения дельхайелита [5]. В 2010 году И.В. Пековым в ультраагпаитовом пегматите г. Расвумчорр Хибинского массива был открыт новый минеральный вид фивегит,  $\text{K}_4\text{Ca}_2[(\text{Si}, \text{Al})_8\text{O}_{19}] (\text{F}, \text{Cl})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  [8]. Данный минерал является трансформационным и находится продуктом изменения первичного дельхайелита, сам изменяясь в свою очередь превращается в гидродельхайелит. Таким образом, была выделена трансформационная серия дельхайелит  $\rightarrow$  фивегит  $\rightarrow$  гидродельхайелит. При этих трансформациях сначала из структуры удаляются Na и F, а затем Cl и большая часть K. При этом процессе плавно возрастает степень гидратации структуры. Данная цепочка трансформационных минералов находится в согласии с концепцией трансформационных минералов, предложенных А. П. Хомяковым [9].

Наличие широких каналов в структуре дельхайелита предполагает возможность ионного обмена. В связи с этим нами поставлена задача по моделированию процесса удаления крупных ионов Na, K и галогенов F, Cl из кристаллической структуры дельхайелита, а также определения пределов устойчивости данного минерала в кислых средах.

Эксперименты по декатионизации проводились на образцах дельхайелита (рис. 1) из ультраагпаитового пегматита на г. Кукисвумчорр Хибинского массива. Дельхайелит образует агрегаты в виде пластинчатых выделений с ромбовидным сечением до 10 см в длину и толщиной 1–2 см в ультраагпаитовом пегматите «расвумчоррского типа», где находится в тесной ассоциации с высококальциевыми безводными минералами ортоклазом, шербаковитом, расвумитом, лобановитом, а также с эгирином, нефелином, лампрофиллитом, эвдиалитом, содалитом. Содалит вместе с пектолитом развивается по изменённым зонам дельхайелита, однако водные разновидности дельхайелита, фивегита и гидродельхайелита здесь не наблюдаются. Декатионизация дельхайелита проводилась при температурах 35, 60, 85, 110 и 135 °C в 1,0, 0,1, 0,01 и 0,001 М растворах HCl с использованием автоклавов объёмом 20 мл с фторопластовыми вкладышами и временем выдержки 24 часа в сушильном шкафу BINDER FD53. В результате экспериментов было обнаружено, что дельхайелит в насыщенных кислотах превращается в белые порошоквидные рентгеноаморфные массы. Наиболее оптимальными оказались слабокислые растворы, в которых дельхайелит меняет цвет с серого на молочно-белый, но при этом сохраняет кристалличность.