

УДК 549 (1/9)

## **ГИДРОТЕРМАЛЬНАЯ И ГИПЕРГЕННАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ УЧАСТКА КРЕСТОВЫЙ (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ СОБЬ-ХАРБЕЙСКАЯ ПЛОЩАДЬ)**

**А.А. Белозерова**

**Научный руководитель – доцент П.Н. Самородский**  
*Сибирский федеральный университет*

Собь-Харбейская площадь представляет фрагмент западного сланцевого обрамления Харбейского гнейсово-мигматитового комплекса, расположенного между Собской и Лонготюганской поперечноуральскими структурами активизации. Участок Крестовый расположен в северной части площади и приурочен к зоне сопряжения систем Няровейского разлома (северо-восточного направления) и Сядатинского разлома (северо-западного направления).

В конце 80-х годов XX века в пределах участка осуществлялись поисковые работы на коренное и россыпное золото. Были выполнены поиски по вторичным ореолам рассеяния, геофизические работы (магнито-, гравиразведка, аэромагниторазведка, радиометрия) и составлены карты локальных аномалий. В 2008 году была пробурена сеть скважин глубиной до 100 метров и проведены наземные горные выработки (канавы).

В процессе обработки результатов выполненных работ 2008 г оказалось затруднительным подобрать промышленный аналог ожидаемого объекта золото-(кварц-)сульфидной формации. На Урале в близкой геологической обстановке находится Авзянское рудное поле Тараташско-Ямантаусского поднятия (Башкирия) с рядом небольших месторождений метаморфогенно-гидротермально типа (Горный прииск, Улюк-Бар, Кургашлинское).

Наиболее богатая минерализация приурочена к линзам доломитовых мраморов, залегающих в толще кварц-серицит-карбонатных сланцев и представлена в большей части сульфидами меди: халькопиритом, борнитом, халькозином. В зоне окисления развиваются малахит, азурит и ковеллин, яркая окраска которых служит одним из важнейших поисковых признаков.

Для подробного изучения образцов пород были изготовлены прозрачные и полированные шлифы и проведены минералогические исследования, основу которых составило петрографическое и минераграфическое изучение на микроскопе Axioskop40-A Pol (ZEISS, Германия). Дополнительно выполнен рентгенфлюоресцентный анализ на установке Mobilab X-50 ALPHA SERIES (США); исследования наиболее труднодиагностируемых фаз проведены с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) серии EVO 50 HV (Германия) с энергодисперсионным анализатором Inca Eneerdy.

В результате проведенных работ уточнены характеристики обнаруженных ранее фаз (пирита, борнита, халькопирита, галенита, халькозина, ковеллина, магнетита, гётита, малахита, азурита, карбонатов, альбита и кварца) а также выявлены новые для этого участка минералы.

Всего было выполнено 32 анализа. Проведенный анализ подтвердил данные минераграфических исследований и позволил уточнить формулы изучаемых минералов (табл.1).

Неизвестные ранее на изучаемом рудопроявлении минералы, такие как моусонит, виттихенит, спертиниит удалось диагностировать лишь с помощью электронной микроскопии из-за небольшого размера и сходства с другими минералами.

Моусонит образует удлинённые (0,1 - 0,2 мм) выделения в борните. Отметим, что хорошо различимый, благодаря ярким синим и оранжевым цветам анизотропии, моусонит с большим трудом обнаруживается при электронно-микроскопическом изучении. Ассоциация моусонита с борнитом является типичной для этого минерала.

Табл. 1. Состав минералов, изученных с помощью СЭМ

Название минерала	Формула	
	теоретическая	по результатам микроанализа
Борнит I	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	Cu <sub>4,1</sub> Fe <sub>0,96</sub> S <sub>3,94</sub>
Борнит II		Cu <sub>4,2</sub> Fe S <sub>4,8</sub>
Халькопирит	CuFeS <sub>2</sub>	Cu <sub>0,98</sub> Fe <sub>0,99</sub> S <sub>2,03</sub>
Халькозин	Cu <sub>2</sub> S	Cu <sub>1,18</sub> S <sub>0,82</sub>
Виттихенит	Cu <sub>3</sub> BiS <sub>3</sub>	Cu <sub>3,07</sub> Bi <sub>0,98</sub> S <sub>2,95</sub>
Моусонит	Cu <sub>6</sub> Fe <sub>2</sub> SnS <sub>8</sub>	Cu <sub>5,89</sub> Fe <sub>2,03</sub> Sn <sub>1,03</sub> S <sub>8,04</sub>
Спертиниит	Cu(OH) <sub>2</sub>	Cu(OH) <sub>2</sub>

Виттихенит образует округлые, вытянутые и неправильные (0,05-0,1 мм) выделения по краям зёрен борнита. Такое расположение может быть связано как с реакционным взаимодействием борнита с гидротермальными растворами, обогащёнными висмутом, так и с гипергенным формированием минерала.

Спертиниит образует округлые и неправильные выделения по краям зёрен борнита (рис.1); размер выделений 0,05-0,1 мм. Кроме спертиниита, борнит также замещается и другими гипергенными минералами - гётитом, малахитом и азурином. Собственно, первоначально минерал был принят за смесь азурита с малахитом (схожая отражательная способность, в скрещенных николях обладает сине-зелёным цветом внутренних рефлексов). Отметим, что спертиниит – сравнительно недавно (1978 г) открытый минерал. Находки его немногочисленны, что связано, очевидно, с малыми размерами, трудностями диагностики и специфическими условиями образования. Подземные воды на участке обнаружения спертиниита имеют щелочной характер (pH=9,2), насыщены кислородом (Eh= +0,83). Такое сочетание приводит к подавлению роста сульфатов меди – обычных продуктов изменения первичных сульфидов Cu.

При электронно-микроскопическом анализе на стенках каверн в борните обнаружены фазы, содержащие K, Cl, O – т.е. элементы, характерные для легкорастворимых минералов. Совместно с наличием каверн в борните это может указывать как на процесс коррозии агрессивными водами, обогащёнными хлором, так и на отложение совместно со спертиниитом и др. гипергенными минералами водорастворимых фаз (атакамита и др), почти полностью уничтоженных впоследствии пресными метеорными водами и последующей мокрой распиловкой, шлифовкой и полировкой образца. Таким образом, необходимо дополнительное изучение материала из незатронутых метеорными водами участков сульфидной минерализации, для возможного выявления новых минералов.

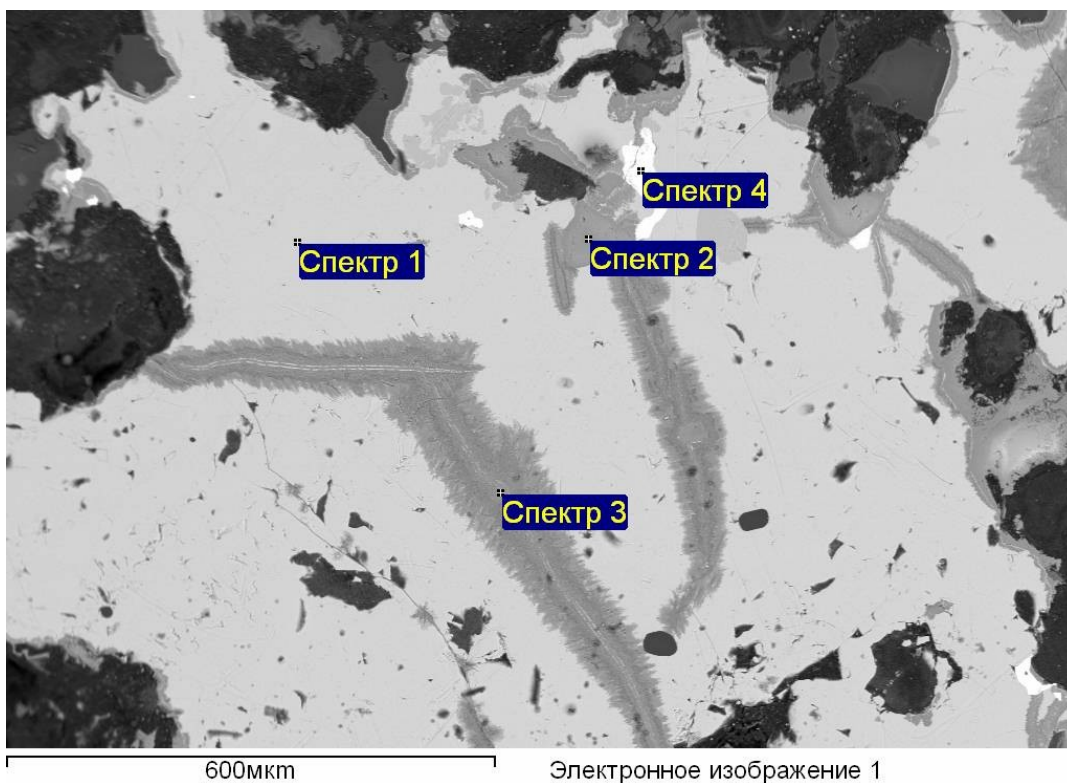


Рис. 1. Характер взаимоотношения борнита, виттихенита и гипергенных минералов. Борнит (светло-серый, точка микрозондового анализа (т.а.) «спектр 1» замещается по трещинам агрегатами ковеллина и гётита (перистые полосы, т.а. «спектр 3»), а также округлыми выделениями спертиниита (т.а. «спектр 2»). Виттихенит (т.а. «спектр 4») представлен белыми выделениями по краю борнита)

Дополнительный рентгенофазовый анализ (рис. 2) позволил выявить в изучаемой ассоциации минералов парабутлерит (парабатлерит)  $(\text{Fe}[\text{OH}][\text{S04}] \cdot 2\text{H}_2\text{O})$  – растворимый водный сульфат железа. Отсутствие этого минерала в аншлифах обусловлено, очевидно, уничтожением при обработке образцов благодаря высокой растворимости.

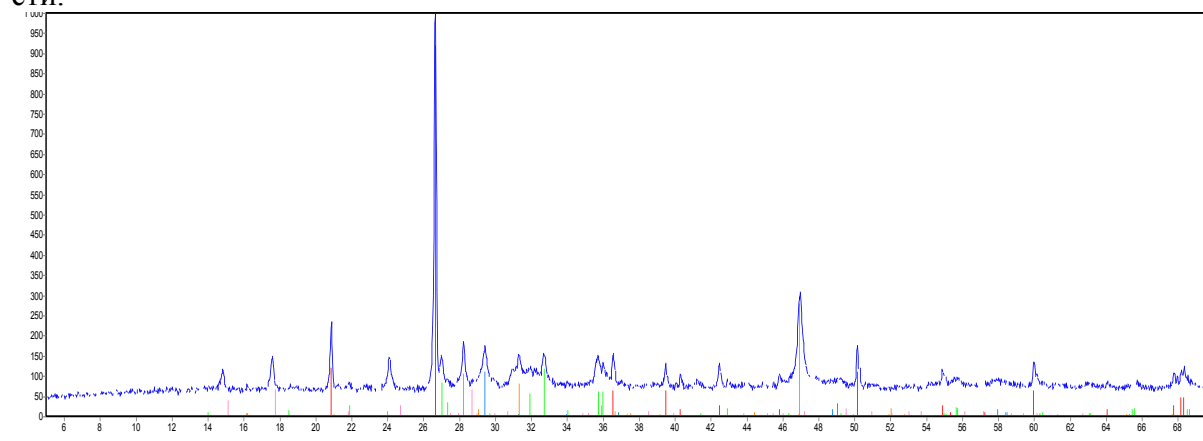


Рис. 2. Дифрактограмма борнита и сопутствующих минералов

В целом, проведённые исследования расширили список минералов участка Крестовый, и позволили уточнить условия гипогенного и гипергенного минералообразования. Необходимо также отметить, что в доступной автору литературе и в сети Интернет информация о находках спертиниита и парабутлерита в России отсутствует.