

УДК 553.434(571.55)

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД УДОКАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

С.Е. Мезенцев¹

Иркутский государственный технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Проведены исследования медных руд Удоканского месторождения на рентгеноспектральном электронно-зондовом микроанализаторе, определен температурный интервал образования медных руд. Главным минералом руд является борнит трех генераций, распространены халькопирит, халькозин двух генераций, пирит. Характерны следующие минеральные ассоциации: борнит-халькопирит-халькозиновая и пирит-халькопиритовая.

На Западном участке Удоканского месторождения отчетливо выделяется стадийность рудоотложения, обоснованная как структурно-текстурными особенностями представленных руд, так и их минералого-геохимическими характеристиками. Отложение рудных минералов происходило, скорее всего, из гидротермальных источников в интервале температур от 300⁰ до 700⁰ С.

Стратиграфический и литологический контроль играет большую роль в образовании данного месторождения. А именно, перекрывающие алевролиты намингинского яруса являются экраном, а нижележащая толща кварц-карбонатных песчаников сакуканской свиты служит благоприятной средой для отложения богатых медных руд.

Борнит, в зависимости от температурных условий и количества Fe в системе, кристаллизовался одновременно с халькопиритом и халькозином. Последующие процессы минералообразования происходили при замещении борнита и халькопирита халькозином второй генерации. Завершающим этапом было образование ковеллина. На настоящей стадии изучения Удокана трудно однозначно трактовать связь оруденения с магматизмом, но вполне вероятной представляется такая связь с одной из фаз Чинийского плутона, как показал Б.И. Гангальский. При этом нужно учитывать плохую изученность нижних горизонтов Удоканского месторождения, которые могут содержать факты, более определенно свидетельствующие о природе процессов рудообразования.

Библиогр. 4 назв. Ил. 4. Табл. 2.

Ключевые слова: борнит; халькопирит; халькозин; гидротермальный процесс.

MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL FEATURES OF UDOKAN FIELD ORES

S.E. Mezentsev

Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

Udokan ores have been examined on an X-ray electron probe microanalyzer and temperature interval of copper ore formation has been determined. The main ore mineral is bornite of three generations. Chalcopyrite, two generations of chalcocite and pyrite are also abundant. Bornite-chalcopyrite-chalcocite association and pyrite-chalcopyrite one are representative mineral associations.

The western sector of the Udokan field clearly reflects ore deposition stages that are justified by structural and textural features of the presented ores as well as by their mineralogical and geochemical characteristics. Ore minerals most likely deposited from the hydrothermal sources in the temperature range from 300⁰ to 700⁰ С.

Stratigraphic and lithologic control plays an important role in the formation of this field. Specifically, the overlying siltstones of the Naminginskiy age formed the screen, and the underlying strata of quartz-carbonate sandstones of the Sakukan suite served as a favorable medium for the deposition of rich copper ores.

Depending on temperature conditions and the amount of Fe in the system, bornite was crystallized simultaneously with chalcopyrite and chalcocite. Subsequent mineralization processes occurred under bornite and chalcopyrite replacement with the second generation of chalcocite. The final stage manifested with the formation of covellite. At the present stage of Udokan study it is difficult to give a unique interpretation of the connection between the mineralization and magmatism. On the other hand, such connection with one of the phases of

¹Мезенцев Сергей Евгеньевич, аспирант кафедры геологии и геохимии полезных ископаемых, тел.: 89246389344, e-mail: sergmezenc@mail.ru

Mezentsev Sergei, Postgraduate student of the Department of Geology and Geochemistry of Minerals, tel.: 89246389344, e-mail: sergmezenc@mail.ru

Chiniyskiy pluton seems quite possible as it was shown by B.I. Gangalsky. Having said so, it should be understood that the lower horizons of the Udokan field, which may contain facts providing clearer understanding of the nature of mineralization processes, are poorly investigated.

4 sources. 4 figures. 2 tables.

Key words: bornite; chalcopyrite; chalcocite; hydrothermal process.

С целью изучения минерального и химического составов и условий образования медных руд Удоканского месторождения в ходе полевых работ были отобраны образцы пород и руд, различные по своему составу и относящиеся ко всем ранее выделенным типам [4]. Материал отбирался из керн скважин, с различной глубины разреза, со стенок штолен и полотна канав. Работы проводились в пределах западного фланга месторождения (участок Западный).

При лабораторных исследованиях этих образцов под микроскопом ранее [3] было выделено четыре текстурных типа, отличающихся условиями нахождения рудных минералов во вмещающих породах (табл. 1).

Для изучения элементного состава минералов были выбраны полированные шлифы из всех указанных выше текстурных типов.

Исследования проводились на рентгеноспектральном электронно-зондовом микроанализаторе JXA8200 (JEOL Ltd, Япония) в Институте геохимии им. Виноградова СО РАН, г. Иркутск. Работы выполнялись аналитиком Л.А. Павловой.

В ходе исследований было получено 28 карт распределения рентгеновского излучения элементов по поверхности, 136 ЭДС спектров и 105 количественных определений на 17 элементов. Помимо основных элементов (Cu, Fe, Ag), для определения были выбраны характерные для месторождений меди элементы примеси (Zn, Mo, Mn, Co, Ni, As, Au, Se, Pb, Ti, Mg, Cr, V, Al).

Результаты проведенных работ подтверждают определенный ранее основной минеральный состав руд: борнит, халькозин, халькопирит и пирит.

Выборка результатов анализа (табл. 2) показывает, что из всех минералов борнит отличается наиболее широкими вариациями по содержанию Cu, Fe и S. Сера варьирует в пределах от 21,7 до 30,5 при стандартном своем положении 25,5. Медь варьирует в пределах от 63,3 до 79,4 при стандартном положении 63,3. Железо варьирует в пределах от 0,2 до 11,4 при стандартном положении 11,2. Нужно отметить, что наибольшее количество результатов приведено как раз по борниту, так как он является наиболее распространенным минералом.

Таблица 1
Распределение минералов по условиям их нахождения в породе

Минералы	Распределение минералов					
	В межзерновом пространстве в породе	Согласно слоистости в породе	В секущих прожилках			В дайке габбро-диабазы
			кварц-сульфидных	сульфидных	кварц-эпидот-сульфидных	
Халькопирит	+	+	+	+		+
Пирит		+				
Борнит	+	+	+	+	+	+
Халькозин-1	+		+			
Магнетит-1	+	+	+	+		
Магнетит-2			+			
Халькозин-2	+	+	+	+	+	+
Гематит	+	+	+	+		
Ковеллин	+	+	+	+	+	

Широкие пределы разброса концентраций элементов должны объясняться двумя факторами: во-первых, неустойчивостью в конкретных Т-Р условиях минерала и переходом в новые, близкие по составу формы; во-вторых, разными условиями образования для разных текстурных типов.

Пирит, халькопирит и халькозин четко занимают свои позиции в общей системе, без значительных отклонений от стандартных образцов. Для визуальной оценки взаимоотношений элементов в системе Cu-S и Fe-S построены графики (рис. 1 и 2), подтверждающие правомерность выделения основных этапов минералообразования [3]. Более ранними минералами являются пирит, халькопирит, борнит и халькозин первой генерации, затем по борниту и халькопириту образуется халькозин

второй генерации, и завершающую стадию представляет ковеллин.

На графиках рис. 1 и 2 видно, что отчетливо выделяются три генерации борнита, которые нельзя было выделить при изучении полированных шлифов под микроскопом.

Первая генерация борнита входит в состав халькопирит-борнит-халькозиновой минеральной ассоциации. Эта минеральная ассоциация присутствует во всех текстурных типах, указанных в табл. 1. В этой генерации борнит проявляется лишь в виде отдельных линз и просечек согласно слоистости вмещающих пород.

Халькопирит в данном случае выступает в виде отдельных агрегатов и участвует в структурах распада в борните (рис. 3). Халькозин II в этом случае замещает борнит по трещинам и по краям зерен.

Таблица 2

Химический состав основных рудных минералов по результатам определения на волновых спектрометрах (%)

№ п/п	S	Cu	Fe	Total	Comment	минерал
1	53.854		46.245	100.099	M3 obr67 F x100 15t t3	пирит
2	53.630		46.053	99.683	M3 obr67 F x100 15t t3	пирит
3	53.607		46.132	99.739	M3 obr67 F x100 15t t4	пирит
4	54.186		46.631	100.817	M3 obr67 F x100 15t t4	пирит
5	53.835		46.665	100.500	M3 obr67 F x100 15t t9	пирит
6	34.605	33.023	30.145	97.773	M3 obr67 F x100 15t t5	халькопирит
7	35.325	33.710	30.810	99.845	M3 obr67 F x100 15t t5	халькопирит
8	34.736	34.147	29.967	98.850	F M2 obr67 x600 5t t1	халькопирит
9	34.258	34.385	29.984	98.627	F M2 obr67 x600 5t t4	халькопирит
10	35.082	35.343	29.518	99.943	F M3 obr11-2 x1000 7t t1	халькопирит
11	25.897	64.292	11.282	101.471	F M2 obr1 x400 15t t1	борнит
12	25.960	64.930	11.418	102.308	F M2 obr1 x400 15t t1	борнит
13	25.819	63.340	11.194	100.353	F M2 obr1 x400 15t t2	борнит
14	25.831	64.137	11.211	101.179	F M2 obr1 x400 15t t15	борнит
15	25.125	63.585	10.623	99.333	F M2 obr51 x1800 9t t7	борнит
16	22.482	79.883		102.365	F M2 obr1 x400 15t t3	халькозин
17	22.554	79.605		102.159	F M2 obr1 x400 15t t4	халькозин
18	22.688	78.549		101.237	F M2 obr1 x400 15t t3	халькозин
19	22.292	79.883		102.175	F M2 obr1 x400 15t t4	халькозин
20	22.016	80.175		102.191	F M2 obr1 x400 15t t8	халькозин

Примечание. Zn, Mo, Mn, Co, Ni, As, Au, Se, Pb, Ti, Cr, V – не обнаружены. Al и Mg – входят в состав вмещающих пород. Ag – редко образует отдельные агрегаты.

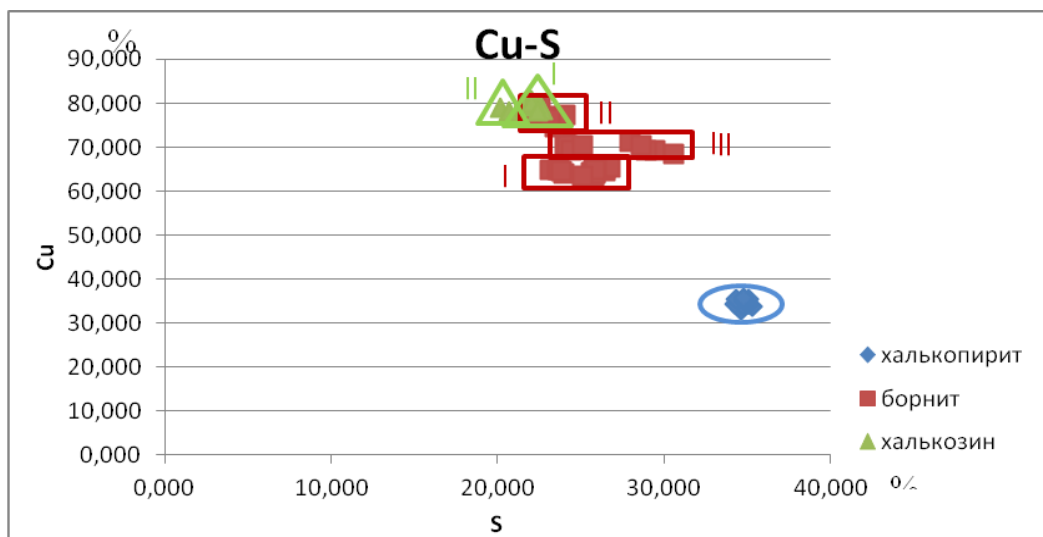


Рис. 1. График взаимоотношения элементов в системе Cu-S

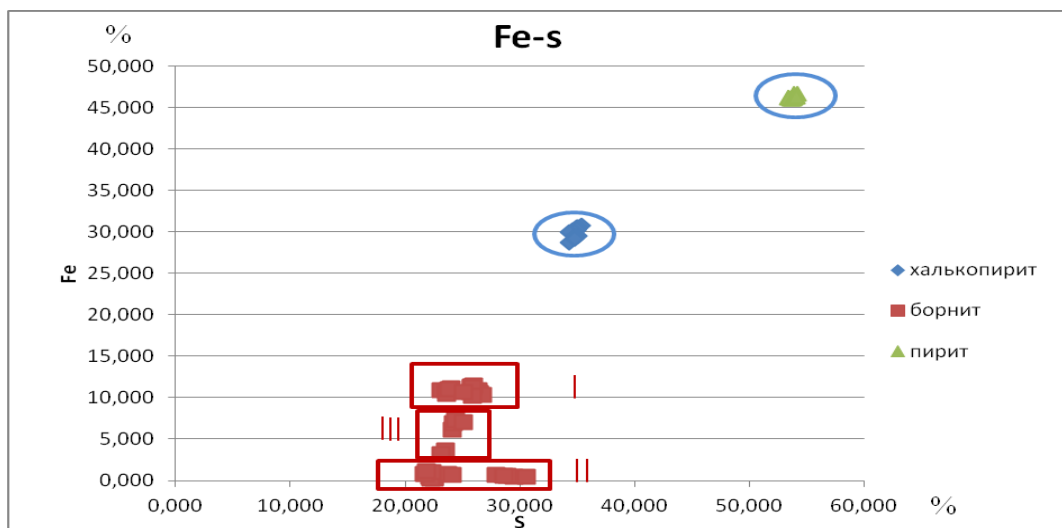


Рис. 2. График взаимоотношения элементов в системе Fe-S



Рис. 3. Структура распада халькопирита в борните. Полированный шлиф. Увеличение 10X4

Второй генерации борнита свойственна относительная «нехватка» железа в системе. Это выражено в виде

мирмекитовых сростаний борнита и халькозина I (рис. 4).

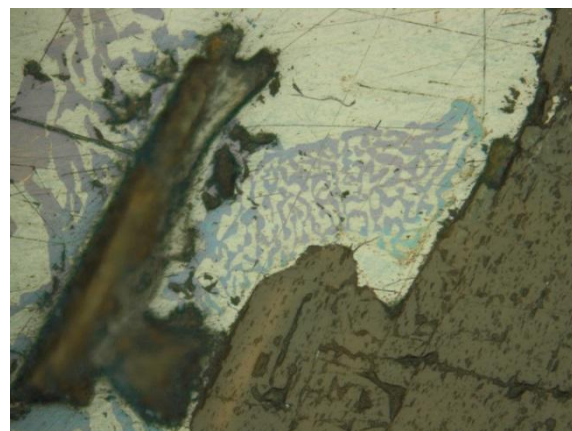


Рис. 4. Мирмекитовые сростания борнита и халькозина. Полированный шлиф. Увеличение 10X4

Вторая генерация борнита также относится к халькопирит-борнит-халькозиновой ассоциации, но халькозин в данном случае образуется одновременно с борнитом и халькопиритом. Данная ассоциация распространяется в межзерновом пространстве в качестве цемента в песчанике и в кварц-сульфидных жилах, в остальных тектурных типах не наблюдалась.

Третья генерация борнита выделяется на промежуточном уровне между «богатой» и «бедной» железом системами. В эту область попали результаты анализов, сделанные по образцам, взятым из собственно сульфидных жил и рудных брекчий, состоящих из обломков вмещающих пород и кварцевых жил.

Известно, что значительное колебание состава борнита ($\text{Cu} - 63,3$; $\text{Fe} - 11,1$; $\text{S} - 25,6$) обязано твердым растворам CuFeS_2 ; Cu_9S_5 ; Cu_2S . Некоторые борниты содержат избыток серы.

При повышенных температурах (300°C и выше) образуются непрерывные твердые растворы $\text{Cu}_5\text{FeS}_4 - \text{Cu}_2\text{S}$ (Cu_9S_5). Область «борнитового» твердого раствора простирается и в сторону состава CuFeS_2 , до 20% Fe (при 700°C). Метастабильные твердые растворы халькопирита в борните и халькозина в борните могут образоваться при температурах и ниже 300°C . С понижением температуры твердые растворы частично или полностью распадаются, образуя хорошо известные решетчатые или мирмекитовые структуры распада халькопирита или халькозина в борните. Борнит в природе широко распространен во многих типах месторождений. Например, в поздних ассоциациях и в экзоконтактовых рудах Cu-Ni месторождений, в верхних частях гипогенных руд медно-порфировых месторождений, в поздних ассоциациях медно-колчеданных и колчеданно-полиметаллических месторождений, в телетермальных месторождениях и в зоне цементации многих сульфидных месторождений [1].

Анализируя полученные данные, можно сделать ряд выводов:

1. Основной минеральный состав сульфидных руд Западного участка Удоканского месторождения представлен борнитом трех генераций, халькопиритом, халькозином двух генераций и в меньшей степени пиритом.

Для данных руд характерны следующие минеральные ассоциации: борнит-халькопирит-халькозиновая и пирит-халькопиритовая.

2. На Западном участке Удоканского месторождения отчетливо выделяется стадийность рудоотложения, обоснованная как структурно-текстурными особенностями представленных руд, так и их минералогическими характеристиками. Отложение рудных минералов происходило скорее всего из гидротермальных источников в интервале температур от 300°C до 700°C .

3. Стратиграфический и литологический контроль играет большую роль в образовании данного месторождения. А именно, перекрывающие алевриты намингинского яруса являются экраном, а нижележащая толща кварц-карбонатных песчаников сакуканской свиты служит благоприятной средой для отложения богатых медных руд.

4. Главный рудный минерал борнит в зависимости от температурных условий и количества Fe в системе кристаллизовался одновременно с халькопиритом и халькозином. Последующие процессы минералообразования происходили при замещении борнита и халькопирита халькозином второй генерации. Завершающим этапом было образование ковеллина.

5. На настоящей стадии изучения Удокана трудно однозначно трактовать связь оруденения с магматизмом, но вполне вероятной представляется такая связь с одной из фаз Чинийского плутона, как это показал Б.И. Гонгальский [2]. При этом нужно учитывать плохую изученность нижних горизонтов Удо-

канского месторождения, которые могут содержать факты, более определенно свидетельствующие о природе процессов рудообразования.

Библиографический список

1. Булах А.Г., Булах К.Г. Физико-химические свойства минералов и компонентов гидротермальных растворов. М.: Недра. 1978. 167 с.

2. Гонгальский Б.И. и др. Гигантские концентрации меди в месторождениях Кадаро-Удоканского района (Северное Забайкалье) // Крупные и суперкрупные месторождения: закономерности размещения и условия образования. М., 2004. 206 с.

3. Мезенцев С.Е., Яхно М.В. Минеральные ассоциации медных руд участка «Западный» Удоканского месторождения и закономерности их распределения во вмещающих породах // Известия СО секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2013. № 1 (42). С. 77–81.

4. Наркелюн Л.Ф. и др. Удоканское медное и Катугинское редкометальное месторождения Читинской области. Чита, 2004. 515 с.

Рецензент доктор геолого-минералогических наук, профессор Иркутского государственного технического университета Ж.В. Семинский