

**ГЛИНОЗЕМИСТАЯ МИНЕРАЛЬНАЯ АССОЦИАЦИЯ
С АЛУНИТОМ В РУДОВМЕЩАЮЩИХ ПОРОДАХ САФЬЯНОВСКОГО
МЕДНОКОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СРЕДНИЙ УРАЛ)**© 2010 г. **Е. И. Сорока, В. П. Молошаг, В. Г. Петрищева***Институт геологии и геохимии УрО РАН
620075, г. Екатеринбург, Почтовый пер., 7
E-mail: soroka@igg.uran.ru*

Поступила в редакцию 11.06.2010 г.

Глиноземистые породы с алунином, каолинитом, серицитом, пирофиллитом встречаются в приконтактной зоне сплошных медноколчеданных руд Сафьяновского месторождения (Средний Урал). Непосредственно на контакте с рудными телами образуется наиболее глиноземистая, пирофиллит-каолинит-алуни-пирит-кварцевая ассоциация, затем следуют серицит-каолинит (алуни-т)-хлорит-кварцевая и серицит-хлорит-(карбонат)-кварцевая ассоциации. Алуни-т на некоторых колчеданных месторождениях Южного Урала был описан как минерал зоны окисления. Не отрицая возможности гипергенного образования алуни-та и каолинита, мы предполагаем на Сафьяновском месторождении близкое одновременное образование глиноземистой ассоциации с рудными минералами.

Ключевые слова: *фа-ция метаморфизма, кварц-серицитовые метасоматиты, глиноземистые минеральные ассоциации, алуни-т, каолинит, пирит, энаргит.*

Сафьяновское медноколчеданное месторождение (рис. 1) локализовано в пределах Восточно-Уральского поднятия в южной части Режевской структурно-формационной зоны. Половина запасов меди месторождения представлена прожилково-вкрапленными рудами в гидротермально измененных вулканогенно-осадочных породах среднего-кислого состава. Массивные медноколчеданные руды состоят из пирита, халькопирита и сфалерита. В подчиненном количестве присутствуют блеклые руды (теннантит и тетраэдрит), дигенит, энаргит, фаматинит и галенит; редко встречаются марказит, пирротин, арсенопирит, золото. Медно-цинковые руды отличаются повышенным содержанием сфалерита и присутствием галенита [13]. Главная рудная залежь месторождения обрабатывается карьером.

Предыдущими исследователями в околородных породах месторождения были выделены зоны каолинит-карбонат-кварцевых метасоматитов, хлорит-гидросерицит-кварцевых, карбонат-гидросерицит-хлорит-кварцевых и кварцевых метасоматитов [2]. В осветленных породах приконтактной зоны рудных тел, из которой были отобраны образцы для опробования (рис. 1), встречается глиноземистая минеральная ассоциация с алунином, пирофиллитом и каолинитом. Непосредственно на контакте с рудными телами образуется наиболее глиноземистая, (пирофиллит)-алуни-т-каолинит-пирит-кварцевая ассоциация, затем следуют серицит-каолинит (алуни-т)-хлорит-кварцевая и серицит (гидросерицит)-хлорит-(карбонат)-кварцевая ассоциации (рис. 2).

Содержание глинозема в породах приконтактной зоны – 13–18 мас. %, но в некоторых разностях с алунином оно достигает 28 мас. % (табл. 1). Алуни-т в породах образует чешуйчатые и волокнистые агрегаты, слагает прожилки и межзерновое пространство. По данным микронзондового анализа (рентгеноспектральный микроанализатор JСХА-733, ИМин УрО РАН, оператор В.А. Муфтахов), это – калиевый алуни-т, который находится в тонкой смеси с серицитом (?) и каолинитом. На дифрактограмме (обр. 19-05) проявлены типичные пики отражения алуни-та: 2.99; 2.29; 4.96; 1.92; 5.77 (аналитик Т.Я. Гуляева, ИГГ УрО РАН). По рентгенофазовому анализу, в образце также присутствует каолинит (диккит), кварц, пирит в виде мелких кубических кристаллов, барит в незначительном количестве.

Термовесовой анализ проб, проведенный на дри-ватографе “Q-1500D” (аналитик В.Г. Петрищева, ИГГ УрО РАН) подтвердил наличие каолинита, алуни-та и пирофиллита. На термограмме кривой нагревания образца 19-05 из зоны контакта массивных руд для каолинита характерен пик дегидратации при температуре 572°С и экзотермический пик при 980°С (рис. 3). Для алуни-та выделяется два эндотермических максимума, первый – на 560°С, связанный с потерей конституционной воды, практически совпадает с пиком дегидратации каолинита (рис. 3) и второй – на 820°С обусловлен диссоциацией безводных квасцов, минимум эндоэффекта проявлен на 810°С (рис. 3). Минимум эндоэффекта пирофиллита проявлен на 770°С. На термограм-

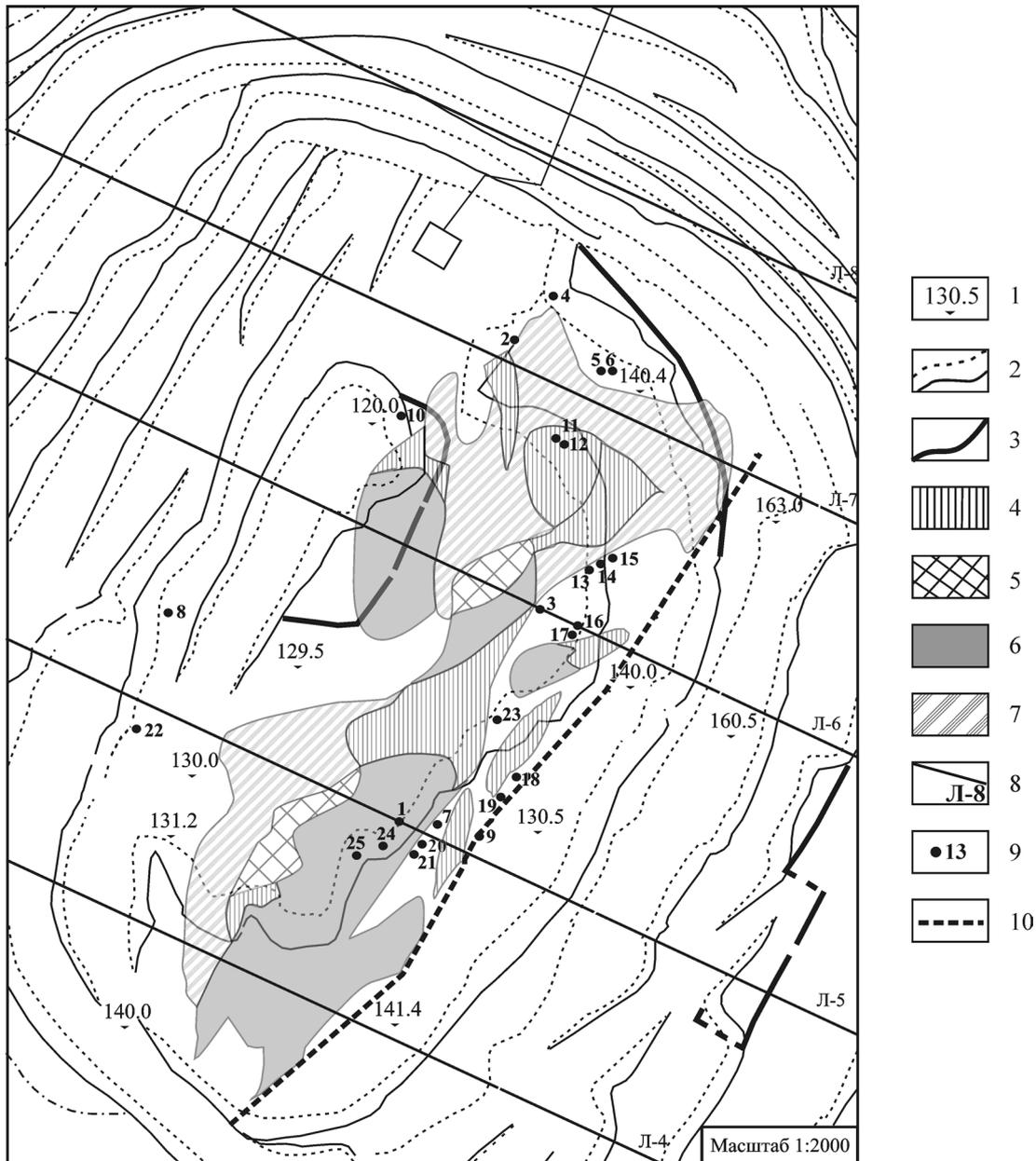


Рис. 1. Схематический план Сафьяновского карьера (2005 г.).

1 – проектные отметки, 2 – фактический контур отработки, 3 – контур горных работ за месяц, 4 – медный колчедан, 5 – медный колчедан богатый, 6 – медно-цинковая руда, 7 – медновкрапленная руда, 8 – профили, 9 – точки отбора проб, 10 – Восточный разлом.

ме кривой нагревания образца 13-05, отобранного из медновкрапленных руд, проявлена эндометрическая остановка при 580°C, характерная для диаспора (рис. 4). По данным рентгенофазового анализа в образце присутствуют сульфиды (пирит, халькопирит, сфалерит), каолинит, иллит и примеси алунита и диаспора (аналитик Т.Я. Гуляева, ИГГ УрО РАН).

Глиноземистые минеральные ассоциации с пирофиллитом, диаспором и каолинитом известны на колчеданных месторождениях Среднего и Южного Урала [3, 12]. Считается, что ассоциация кварц-серицит-пирофиллит (диаспор) колчеданных место-

рождений Южного Урала образовалась в процессе кислотного выщелачивания во время поствулканической деятельности [3], а ассоциации с каолинитом и поздним пирофиллитом могли образоваться в процессе гипергенеза [12]. Алунит на некоторых колчеданных месторождениях Южного Урала был описан как минерал зоны окисления [1]. На Сафьяновском месторождении осветленные каолинизированные и серицитизированные породы развиты в зоне Восточного разлома (рис.1), который наблюдается в восточном борту карьера (горизонты 150, 160 м) с простиранием 205° и падением пород на запад под



Рис. 2. Зона развития глиноземистой минеральной ассоциации на контакте со сплошными медноколчеданными рудами в борту карьера на горизонте 140 м.

Сплошной линией и стрелками показана примерная граница развития алунит (пиррофиллит)-каолинит-пирит-кварцевой ассоциации. Точками показана примерная граница развития ассоциации кварц-серицит (гидросерицит)-каолинит-хлорит.

Таблица 1. Химический и минеральный состав глиноземистых пород Сафьяновского месторождения

Пробы	Минералы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	П.п.п.	P ₂ O ₅	CuO	ZnO	S ²⁻	сумма
1-05	Brt, Sp Py,	–	<0.05	0.10	3.70	0.30	0.18	0.84	0.08	0.05	0.08	3.50	0.09	0.33	3.65	3.48	93.87
		–	<0.05	0.10	3.70	0.30	0.18	0.84	0.08	0.05	0.08	3.50	0.09	0.33	3.65	3.48	40.66
2-05	Q, Ill, Py, Cl	72.20	0.07	7.63	9.81	0.26	0.21	0.32	0.15	1.96	0.16	6.40	0.06	0.56	<0.01	6.79	100.08
3-05	Q, Mus, Py	81.98	0.07	8.54	2.31	0.31	0.21	0.31	0.19	2.48	0.16	2.98	0.06	0.05	<0.01	2.00	99.66
4-05	Кв, Py	50.02	<0.05	1.67	18.98	0.36	0.15	0.40	0.08	0.23	0.14	10.62	0.06	16.94	<0.01	10.84	99.92
5-05	Q, Aln, Py	66.78	0.08	12.18	6.45	0.23	0.61	0.29	0.20	3.06	0.36	8.16	0.11	0.39	0.86	5.91	100.07
6-05	Q, Mus,	66.52	0.11	11.04	10.51	0.17	0.73	0.24	0.15	1.88	0.18	8.12	0.06	<0.01	<0.01	8.21	99.71
7-05	Brt, Q, Py	49.44	0.05	4.80	3.90	0.19	0.40	1.03	0.17	1.20	0.16	4.04	0.08	0.13	0.17	3.93	91.88
		49.44	0.05	4.80	3.90	0.19	0.40	1.03	0.17	1.20	0.16	4.04	0.08	0.13	0.17	3.93	74.68
9-05	Ab, Q, Cl, Py, Ill	75.46	0.16	13.11	0.94	0.74	0.74	0.42	3.08	2.30	0.22	2.64	0.08	<0.01	0.09	0.47	100.01
10-05	Ill, Cl, Kln, Q Py	50.90	0.23	23.15	3.96	0.13	2.18	0.37	0.19	4.18	6.58	1.34	0.15	–	–	2.18	94.95
		53.05	0.23	24.48	3.56	0.13	2.23	0.34	0.25	4.36	6.58	1.34	0.15	–	–	2.18	98.29
13-05	Kln, Mus, Py	7.54	0.07	5.27	56.75	–	0.19	0.33	0.11	0.62	0.16	29.92	0.08	–	–	32.76	101.43
14-05	Q, Mus, Ab	55.98	0.30	24.77	2.62	0.54	0.97	0.59	3.04	5.48	0.42	4.94	0.14	–	–	2.09	100.26
15-05	Cl, Q, Kln	71.24	0.10	7.81	7.17	3.34	2.70	0.48	0.13	0.16	<0.10	6.16	0.08	–	–	5.04	99.94
16-05	Kln, Q, Py	58.66	0.10	17.90	9.15	0.40	0.48	0.31	0.10	0.21	0.20	12.00	0.06	–	–	7.24	100.03
17-05	Q, Brt, Kln, Prl	68.96	0.12	11.36	3.25	0.11	0.44	0.58	0.20	1.59	0.40	6.48	0.06	–	–	2.38	95.44
		71.10	0.12	11.12	3.22	0.11	0.43	0.71	0.25	1.64	0.48	6.32	0.06	–	–	2.38	97.46
18-05	Q, Kln, Py, Cl	68.44	0.11	15.00	4.96	0.40	0.56	0.37	0.33	2.20	0.72	6.48	0.10	–	–	3.88	100.08
19-05	Aln, Kln, Q, Py	37.70	0.05	28.33	2.07	0.12	0.12	0.35	0.19	4.06	0.36	17.34	0.17	–	–	5.26	92.45
		38.55	0.05	28.10	2.18	0.12	0.10	0.35	0.28	3.96	0.36	17.38	0.17	–	–	5.26	93.20
21-05	Kln, Py, Cl, Mus, Gn, Q	14.26	0.07	9.31	46.62	–	0.20	0.54	0.16	0.31	0.18	27.26	0.08	–	–	22.25	100.15

Примечание. В таблице приведены минералы, количество которых более 3%. Сокращения: Aln – alunite (алунит); другие символы по [15]: Ab – albite (альбит), Brt – barite (барит), Cl – chlorite (хлорит), Gn – galena (галенит), Ill – illite (иллит), Kln – kaolinite (каолинит), Mus – muscovite (мусковит), Q – quartz (кварц), Prl – pyrophyllite (пиррофиллит), Py – pyrite (пирит), Sp – sphalerite (сфалерит). Нерастворимый остаток обнаружен в пробах: 1-05 (80.97%); 7-05 (26.12%). Прочерк – компонент не определялся. Содержание MnO < 0.01%, содержание CO₂ в пробе 9-05 – 0.58%, в остальных пробах < 0.10%. Содержание SiO₂ в пробе 1-05 не определялось из-за наличия значительного количества нерастворимого барита (более 5%), с которым силикаты и кварц находятся в тесных сростаниях. По этой же причине содержание Al₂O₃ занижено. Анализы выполнены в Южно-Уральском центре коллективного пользования по исследованию минерального сырья г. Миасс, исполнитель Ю.Ф. Мельнова. Дополнительные сведения: сера сульфидная общая входит в состав потерь при прокаливании.

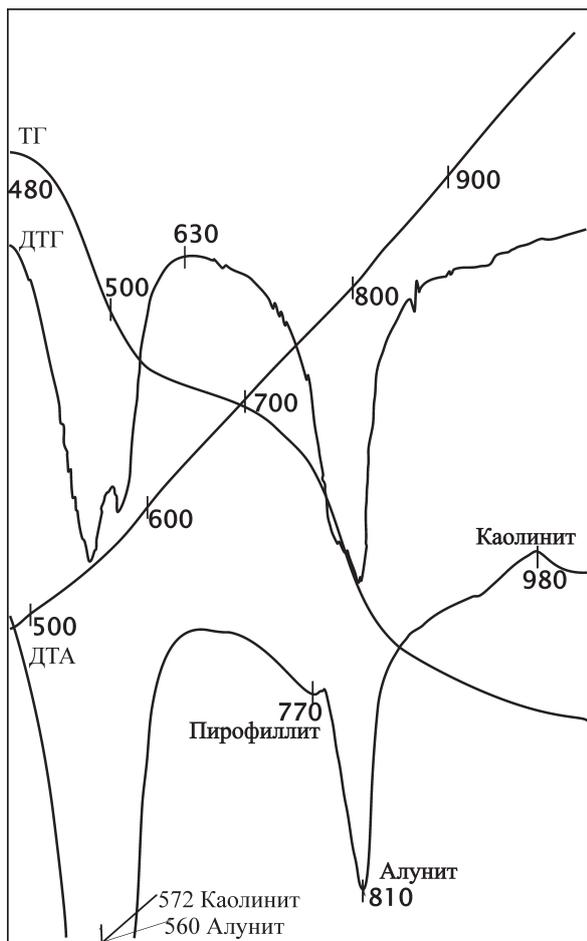


Рис. 3. Термограмма образца обеленной породы (обр. 19-05) из зоны контакта со сплошными медноколчеданными рудами, горизонт 140 м.

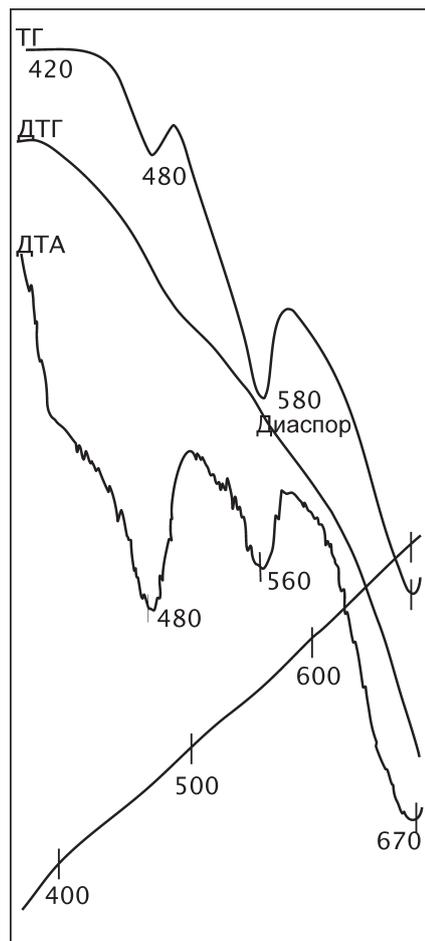


Рис. 4. Термограмма образца осветленной породы на границе зоны развития медновкрапленных руд (обр. 13-05), горизонт 120 м.

углом 60–73° [5]. По предположению исследователей, данный разлом относится к рудопроводящим, рудные тела залегают в его висячем боку, и, учитывая высокую степень катаклаза пород, предполагается, что осветленные разности могут являться линейными корами химического выветривания, связанными с процессами окисления сульфидных руд [5].

На Сафьяновском месторождении глиноземистая минеральная ассоциация – пирофиллит-алунит-каолинит-серицит-кварц – развита на контакте с рудной зоной и на более глубоких горизонтах (140–110 м) [11], можно предположить ее близкоодновременное происхождение с рудными минералами. Руды месторождения относятся к халькопиритовой фации энаргитовой субфации метаморфизма с температурой образования 180–300°C [7]. Присутствие алунита характерно для выделенной В.П. Логиновым [6] формации колчеданных месторождений с рудами, содержащими энаргит и люцонит. Их образование происходило в окислительных условиях. В структуре люцонита и энаргита (Cu₃AsS₄–Cu₃SbS₄) мышьяк и сурьма присутствуют в окисленном пятивалентном состоянии, что сви-

детельствует о повышенной активности кислорода при их образовании. Предполагается, что на Сафьяновском месторождении энаргит образовался при участии газообразных соединений мышьяка в виде AsS, при высокой активности серы (–logf_{S₂} = 10–12) и достаточно высокой активности кислорода. Судя по диаграмме (рис. 5), образование алунита одновременно с энаргитом возможно при активности кислорода (–logf_{O₂}) = 38 и выше, в области значений pH = 2.8–5.2. Образование серицита возможно при pH = 5.2 и выше.

В экспериментах каолинит в ассоциации с кварцем, пиритом и хлоритом образуется при воздействии на гранодиорит кислых (pH = 1.8) растворов KCl + [SiO₂] + H₂S с низким a_{K⁺}/a_{H⁺} при температурах 300–250°C и давлении 0.5 кбар и 0.1X_{CO₂} [4]. Пирофиллит в ассоциации с кварцем и хлоритом образовывался при воздействии кислых (pH = 1.6) растворов HCl + KCl + [SiO₂] при температурах 350°C и давлении 1.25 кбар и 0.1X_{CO₂} [4]. Таким образом, при подобных условиях возможно образование каолинита вместо пирофиллита при быстром падении температуры и давления.

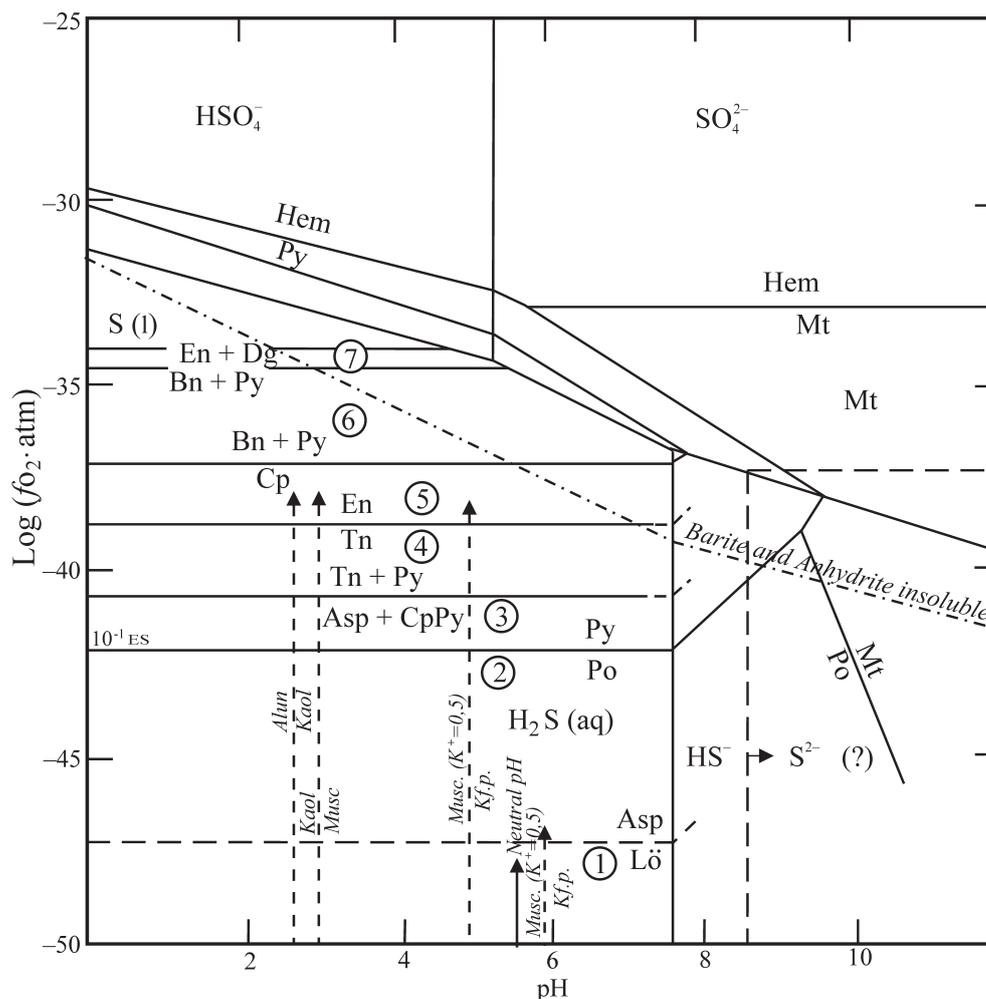


Рис. 5. Поля устойчивости минералов в системе Cu–Fe–S–O, а также барита, ангидрита, серицита (мусковита), алунита, каолинита и водных частиц серы при 250°C в координатах рН–летучесть кислорода по [14] с изменениями.

Цифрами в кружках отмечены поля устойчивости субфаций: 1 – леллингит-пирротиновая; 2 – арсенопирит-пирротиновая; 3 – арсенопирит-халькопиритовая; 4 – халькопирит-блеклорудная; 5 – энаргит-халькопиритовая; 6 – борнит-блеклорудная; 7 – энаргит-дигениновая [7].

Для сплошных (массивных) сульфидных руд рудообразующий флюид, вероятно, имел первоначально восстановительный характер. На границе зоны рудообразования массивных и прожилково-вкрапленных руд происходит смена восстановительных условий более окисленными. В породах и рудах Сафьяновского месторождения, как в сплошных рудах, так и в прожилково-вкрапленных, распространен барит, который, судя по диаграмме $\log f_{O_2}$ –рН, мог образовываться при различных значениях рН в зависимости от активности кислорода. На рис. 6 кривая распределения РЗЭ в обр.1-05, отбранном из баритового гнезда в сплошных медноцинковых рудах показывает резкое преобладание легких РЗЭ и Eu-аномалию. Подобное распределение показывает и кривая в кварц-пирит-каолинит-алунитовом прожилке (обр. 19-05) на контакте со сплошными медноцинковыми рудами (горизонты

140–130 м). По нашим данным, (табл. 2), породы на горизонтах 140–110 м, где встречается глиноземастая алунит-каолинит-серицит-кварцевая ассоциация, характеризуются преобладанием легких РЗЭ. Но, в целом, при общем относительно низком содержании РЗЭ (табл. 2), их распределение в серицит-кварцевых метасоматитах Сафьяновского месторождения, соответствует таковому для кислых вулканитов [8], хотя в ряде образцов наблюдаются положительные Eu- и Ce-аномалии (рис. 6). Характер спектров РЗЭ и наличие Eu- и Ce-аномалий разного знака свидетельствует об эволюции системы минералообразования. Положительная Eu-аномалия может указывать на присутствие Eu^{2+} в рудообразующем флюиде, т.е., на восстановительные условия среды. Нужно отметить, что в зоне развития серицит-кварцевых метасоматитов Сафьяновского месторождения впервые для колчеданных место-

Таблица 2. Содержание элементов-примесей (г/т) в глиноземистых породах Сафьяновского месторождения

Эл. №	1-05	2-05	3-05	4-05	5-05	6-05	8-05	9-05	10-05	13-05	14-05	15-05	16-05	17-05	18-05	19-05
Li	0.81	4.48	1.90	2.75	2.30	10.25	11.29	15.82	19.36	4.24	3.82	25.38	24.82	11.41	8.81	17.04
Be	0.04	0.17	0.27	0.03	0.26	0.23	0.72	0.96	0.42	0.08	1.5	0.11	0.07	0.21	0.32	0.21
Sc	н/о	3.86	4.61	1.04	1.53	2.95	1.17	5.0	16.12	2.69	13.29	2.92	1.06	5.37	6.53	5.31
Ti	8.66	450.69	404.41	147.2	327.67	695.26	969.07	1096.47	1548.32	353.85	1944.25	273.56	160.62	383.18	572.78	72.73
V	13.45	8.23	3.75	10.01	53.84	7.56	11.75	12.39	18.7	5.82	19.83	6.91	38.19	31.54	34.43	63.57
Cr	1.06	2.65	1.83	5.123	2.51	0.32	3.74	н/о	2.27	1.36	1.32	н/о	н/о	1.63	1.05	2.55
Mn	52.53	23.51	24.71	13.96	16.29	18.79	140.24	169.95	22.84	10.03	74.14	41.22	3.42	9.50	14.65	3.13
Co	7.78	17.21	1.75	82.28	3.43	11.09	1.54	1.47	3.80	115.05	3.90	4.75	6.61	4.58	1.79	0.40
Ni	0.41	0.84	0.21	7.54	1.73	1.36	1.63	0.41	1.57	1.67	1.52	н/о	0.39	2.39	7.40	1.53
Cu	4170.57	3442.24	408.92	101136	1574.44	12.28	36.09	6.89	75.65	534.63	30.57	31.0	200.40	573.48	99.05	35.31
Zn	44322.41	124.92	16.83	21.07	3067.91	99.2	578.05	484.2	239.62	19.05	578.89	50.65	46.17	1145.12	1373.96	426.91
Ga	35.32	12.48	24.93	3.41	37.96	8.79	13.12	16.29	22.21	30.27	25.38	9.97	7.11	20.58	15.82	2.27
Ge	1.89	0.54	0.81	1.22	0.64	0.59	0.57	0.63	0.46	0.68	0.42	0.47	0.27	1.15	1.01	0.47
Rb	1.03	13.19	14.31	1.86	7.98	8.04	9.84	22.76	22.04	5.85	56.8	0.86	0.74	14.73	20.99	2.52
Sr	399.58	44.2	10.38	9.22	13.78	49.88	58.61	53.44	150.77	31.36	72.02	2.90	1.28	107.01	34.75	39.77
Y	0.47	6.55	5.97	4.95	1.11	5.54	1.13	4.75	14.3	7.21	12.25	7.99	3.58	10.65	5.33	0.90
Zr	1.57	50.56	76.34	18.27	63.28	74.45	95.82	101.09	134.18	65.41	170.61	44.20	31.93	84.83	80.35	28.60
Nb	0.02	0.86	2.08	0.50	1.38	1.33	1.56	1.83	н/о	1.73	н/о	1.04	н/о	н/о	2.24	0.59
Mo	20.77	9.64	0.99	65.16	4.66	2.10	0.73	0.25	1.96	40.43	2.89	2.01	2.52	6.41	6.47	2.04
Ag	165.34	4.85	0.22	7.93	8.00	0.22	0.51	0.14	1.18	1.08	0.50	0.13	0.12	6.38	10.69	2.78
Cd	473.25	1.53	0.09	0.93	26.72	3.28	1.21	0.28	2.27	0.23	2.97	0.02	1.36	8.04	13.11	4.35
Sn	70.75	5.03	4.58	6.97	5.07	3.23	0.87	0.82	7.14	2.37	2.94	1.14	1.52	3.60	3.45	0.39
Sb	240.77	34.340	7.92	27.09	20.64	1.96	2.39	2.03	9.59	4.04	1.26	2.32	8.12	39.55	39.13	6.66
Te	1.05	4.26	2.33	11.62	0.29	0.63	н/о	0.004	н/о	8.71	0.45	0.17	0.21	0.08	н/о	н/о
Cs	0.05	0.62	0.68	0.07	1.22	0.64	2.58	2.18	3.56	0.63	5.33	0.07	0.18	1.07	1.19	0.49
Ba	2508.44	1885.20	410.48	210.65	911.67	401.41	835.77	639.39	16893.1	458.36	1404.62	67.88	34.61	18358.2	1312.41	3251.77
La	10.73	3.5	4.10	1.25	0.82	1.48	0.59	1.71	6.35	5.08	6.49	3.59	1.56	8.3	3.85	1.24
Ce	13.37	9.47	7.70	2.49	1.19	3.98	0.61	4.54	15.37	15.69	9.08	9.00	4.37	15.38	9.32	2.10
Pr	1.11	0.82	1.11	0.33	0.20	0.50	0.09	0.60	1.85	1.86	0.88	1.13	0.49	1.73	1.13	0.25
Nd	3.74	3.52	4.96	1.51	0.84	2.27	0.38	2.84	8.09	8.61	3.51	5.07	2.3	7.12	4.85	1.05
Sm	0.67	0.85	1.25	0.46	0.18	0.74	0.1	0.74	2.42	1.8	0.87	1.24	0.58	1.63	1.20	0.27
Eu	0.27	0.33	0.11	0.11	0.11	0.21	0.05	0.15	1.93	0.19	0.2	0.10	0.06	1.44	0.3	0.16
Gd	0.35	0.95	1.22	0.7	0.15	1.24	0.12	0.89	2.59	1.36	1.13	1.31	0.60	1.3	0.92	0.18
Tb	0.03	0.16	0.18	0.13	0.03	0.21	0.02	0.15	0.45	0.22	0.25	0.21	0.10	0.24	0.14	0.03
Dy	0.12	1.08	1.141	0.9	0.19	1.33	0.16	1.06	3.18	1.5	2.09	1.4	0.72	1.79	1.00	0.18
Ho	0.02	0.24	0.24	0.18	0.05	0.27	0.04	0.24	0.71	0.32	0.51	0.30	0.15	0.43	0.22	0.04
Er	0.04	0.74	0.76	0.50	0.17	0.83	0.12	0.78	2.28	1.00	1.80	0.94	0.44	1.38	0.71	0.12
Tm	0.01	0.12	0.12	0.07	0.03	0.14	0.02	0.13	0.38	0.17	0.33	0.15	0.07	0.23	0.12	0.02
Yb	0.04	0.85	0.84	0.47	0.24	0.96	0.15	0.9	2.88	1.19	2.61	1.06	0.44	1.63	0.86	0.14
Lu	0.01	0.14	0.13	0.07	0.04	0.16	0.03	0.15	0.47	0.18	0.42	0.16	0.07	0.27	0.13	0.02
Hf	0.04	1.6	2.81	0.52	2.13	2.2	2.97	3.1	5.63	2.32	5.7	1.44	1.07	2.97	3.36	0.92
Ta	0.003	0.19	0.35	0.05	0.23	0.33	0.22	0.34	0.24	0.73	0.48	0.16	н/о	0.05	0.4	0.28
W	1.29	2.39	1.95	2.41	3.61	0.77	1.35	1.44	7.14	3.03	3.37	1.13	1.08	4.05	3.81	3.24
Tl	38.68	1.05	0.32	0.68	7.60	0.41	1.98	2.14	1.8	0.62	3.05	0.06	0.08	6.70	9.06	2.06
Pb	14611.03	120.04	102.20	21.54	424.49	14.19	30.17	11.19	95.33	66.29	15.93	4.33	1.14	650.76	407.48	2581.28
Bi	2.48	8.98	1.11	23.69	2.430	2.09	0.1	0.04	0.45	13.62	0.58	1.36	1.36	3.36	0.29	0.07
Th	0.09	1.05	1.31	0.58	0.25	1.42	0.09	1.16	3.4	1.81	2.57	1.19	0.49	1.94	2.65	0.90
U	2.06	2.57	1.74	3.06	2.78	3.34	1.47	1.85	3.91	4.44	4.77	1.96	3.21	6.43	10.92	3.87

Примечание. Анализ выполнен методом ICP-MS (ИГ УРО РАН, г. Екатеринбург, аналитики: Д.В. Киселева, О.А. Березикова, Н.А. Чередищенко); н/о – не обнаружено.

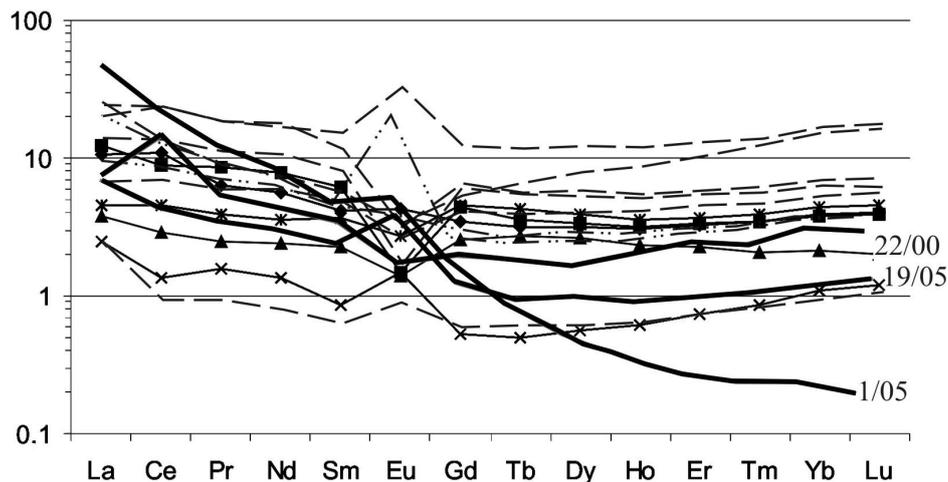


Рис. 6. Нормированные по хондриту С1 графики содержаний РЗЭ в глиноземистых серицит-кварцевых метасоматитах Сафьяновского медноколчеданного месторождения (Средний Урал), по данным табл. 2. Сплошными жирными линиями выделены образцы 1-05, 19-05, 22-00. Обр. 22-00 приводится по данным [8].

рождений Урала установлен алюмо-стронциевый фосфат гойяцит: $\text{SrAl}_3(\text{PO}_4)(\text{HPO}_4)(\text{OH})_6$, обогащенный Ce и La [9], а также Ce-La монацит [11].

Таким образом, Сафьяновское медноколчеданное месторождение имеет некоторые особенности, отличающие его от колчеданных месторождений уральского типа: 1) расположено в Восточной вулканогенной зоне Урала; 2) рудовмещающие вулканы относятся к андезит-дацитово-формации; 3) отмечается широкое распространение брекчий; 4) присутствие в рудах минералов пятивалентных мышьяка и сурьмы (энаргита Cu_3AsS_4 и фаматинита Cu_3SbS_4), которые образуются при повышенной летучести кислорода [6]; 5) наличие в ореоле окорудных изменений боковых пород низкотемпературных глиноземистых минералов – алуниита каолинита (диккита), смешаннослойных слюд, отглающихся в условиях кислой среды. Все это свидетельствует о близости Сафьяновского месторождения к колчеданным месторождениям малокавказского типа с характерными признаками проявления особой высокосульфидизированной стадии их эволюции [6, 10].

Исследования выполняются при поддержке проектов УрО 09-М-2345-2001 (“Освоение недр Земли...”), 09-05-12035-офи_м и 09-Т-5-1011.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белогуб Е.В., Нововселов К.А., Яковлева В.А. Зона окисления Западно-Озерного цинково-медноколчеданного месторождения (Южный Урал). Миасс: НИСО УрО РАН, 2006. 181 с.
2. Грабежев А.И., Молошаг В.П., Сотников В.И. и др. Метасоматический ореол Сафьяновского Zn-Cu месторождения, Средний Урал // Петрология, 2001. Т. 9, № 3. С. 294–312.
3. Зайков В.В., Кораблев Г.Г., Удачин В.Н. Пирофиллитовое сырье палеовулканических областей. М.: Наука, 1989. 127 с.
4. Зарайский Г.П. Зональность и условия образования метасоматических пород. М.: Наука, 1989. 341 с.
5. Кисин А.Ю. Структурная позиция и время образования прожилково-вкрапленных руд Сафьяновского Zn-Cu месторождения (Средний Урал) // Литосфера. 2009. № 5. С. 72–84.
6. Логинов В.П. Формации семейства колчеданных месторождений // Рудные формации эндогенных месторождений. Т. 2. М.: Наука, 1976. С. 111–148.
7. Молошаг В.П., Грабежев А.И., Викентьев И.В., Гуляева Т.Я. Фации рудообразования колчеданных месторождений и сульфидных руд медно-золото-порфириновых месторождений Урала // Литосфера. 2004. № 2. С. 30–51.
8. Молошаг В.П., Прокин В.А., Удачин В.Н., Сорока Е.И. Распределение редкоземельных и редких элементов в субвулканических породах Сафьяновского месторождения // Ежегодник-2004. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2005. С. 192–198.
9. Молошаг В.П., Сорока Е.И., Филиппов В.Н. Алюмофосфат стронция в породах Сафьяновского колчеданного месторождения (Средний Урал) // Теория, история, философия и практика минералогии: матлы Междунар. симп. Сыктывкар: Геопринт, 2006. С. 192–193.
10. Прокин В.А., Буслаев Ф.П., Молошаг В.П., Малюгин В.А. Геология Сафьяновского медноколчеданного месторождения (по результатам картирования карьера) // Ежегодник-2001. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. С. 276–281.
11. Сорока Е.И., Молошаг В.П., Леонова Л.В., Филиппов В.Н. РЗЭ-минерализация в окорудных породах Сафьяновского медноколчеданного месторождения (Средний Урал) // 10-е Всерос. науч. чтения памяти В.О. Полякова. Миасс, ИМин УрО РАН, 2009. С. 30–35.
12. Удачин В.Н. Пирофиллитсодержащие метасоматиты Гайского медноколчеданного месторождения (ге-

- ология, минералогия, технология). Свердловск: УрО АН СССР, 1990. 59 с.
13. Язева Р.Г., Молошаг В.П., Бочкарев В.В. Геология и рудные парагенезисы Сафьяновского месторождения в среднеуральском ретрошарьяже // Геология Рудных месторождений. 1991. Т. 33, № 4. С. 47–58.
14. Crerar D.A., Barnes H.L. Ore solution chemistry. V. Solubility of chalcopyrite and chalcocite assemblages in hydrothermal solution of 200 to 350°C // Econ. Geol. 1976. V. 71, № 4. P. 772–794.
15. Kretz R. Symbols for rock-forming minerals // Amer. Mineral. 1983. V. 68. P. 277–279.

Рецензент В.Н. Огородников

Aluminous mineral association with alunite in the ore-bearing rocks of the Safyanovskoe Cu-Zn-sulfide deposit (the Middle Urals)

E. I. Soroka, V. P. Moloshag, V. G. Petrishcheva

Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

Aluminous rocks with alunite, kaolinite, sericite, pyrophyllite are found at the contact of the massive sulfide ore bodies in Safyanovskoe copper sulfide deposit (the Middle Urals). Just at the contact of ore bodies there is the most aluminous pyrophyllite-kaolinite-alunite-pyrite-quartz mineral association which is followed by sericite- kaolinite-(alunite)-chlorite-quartz and than by sericite-chlorite-(carbonate)-quartz one. At the some sulfide deposits of the Southern Urals alunite has been determined as a mineral of an oxidation zone. But we suggest their near-simultaneous origin with ore minerals.

Key words: metamorphic facies, quartz-sericite metasomstites, aluminous mineral association, alunite kaolinite, pyrite, enargite.