

ПЕТРОГЕОХИМИЯ МЕТАСОМАТИТОВ СУХОЛОЖСКОГО ПРОЯВЛЕНИЯ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

А. И. Грабежев, А. В. Коровко

Научно-производственные исследования последних десятилетий привели к открытию промышленных медно-порфировых месторождений на Южном Урале [1, 2]. На территории Среднего и Северного Урала такие работы находятся в зачаточном состоянии, хотя диоритоидные интрузии медно-порфировой металлогенической специализации широко распространены в пределах вулканогенных структур всего Среднего Урала. В настоящей работе приведены предварительные данные по одному из проблемных участков – Сухоложскому, для которого характерно очень широкое распространение (в том числе на глубины более 600 м) обильной вкрапленности пирита в сильно серицитизированных гранитоидах и вулканитах среднего состава при отсутствии или минимальном содержании рудных сульфидов. В статье предпринята попытка установить генетическую природу этого объекта.

Сухоложское проявление, находящееся на юго-западной окраине г. Сухой Лог, представлено на поверхности обнажениями сильно пиритизированных пород по берегам р. Пышмы. Проявление выявлено Н.Н. Гореловым в 1968 г. и вскрыто в 1976–1977 гг. по профилю С-С3 простираения длиной 480 м тремя скважинами глубиной от 30 до 100 м (скв. № 260–263, картирование В.П. Олерского) и скв. № 1 глубиной 602.4 м, пробуренной Зауральской КГРЭ по рекомендации К.П. Плюснина. Проявление находится в южной части Рудянского рудного поля Артемовско-Сухоложского блока размером 50 × (2–7) км. Вулканогенные образования вероятно D₂ возраста на участке проявления имеют нечеткое падение на ЮЗ и вверх по разрезу. В районе с. Шата они перекрыты среднедевонскими известняками. Разрез детально охарактеризован в [4]. Скважиной № 1 вскрыты интенсивно гидротермально измененные кварц-плагиоклазовые дио-

Таблица 1. Химические анализы гранитоидов и метасоматитов по ним Сухоложского рудопроявления, мас. %.

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SiO ₂	61.01	52.00	50.80	56.09	56.72	57.71	68.14	70.83	66.49	54.80	60.06	48.66	64.23	64.42	60.54
TiO ₂	0.44	0.59	0.72	0.53	0.48	0.57	0.48	0.23	0.32	0.43	0.63	1.05	0.58	0.53	0.56
Al ₂ O ₃	17.10	18.61	19.90	17.67	16.52	15.86	18.63	13.03	16.46	16.20	15.23	12.31	15.74	15.71	14.31
Fe ₂ O ₃	1.09	1.72	0.33	1.75	1.91	4.21	0.25	1.59	0.12	3.12	4.26	4.20	0.51	1.20	0.60
FeO	1.20	1.34	0.10	0.87	1.42	2.20	0.26	0.90	0.08	0.90	2.01	4.04	0.40	1.47	0.65
MnO	0.04	0.04	0.04	0.10	0.07	0.17	0.03	0.03	0.04	0.13	0.11	0.14	0.05	0.19	0.19
MgO	3.85	4.66	9.30	6.36	5.03	5.82	2.07	1.90	3.28	1.91	4.53	8.74	5.22	4.63	7.16
CaO	0.90	1.54	0.18	1.83	1.53	2.46	0.18	0.96	0.53	4.82	1.39	9.72	0.25	0.28	3.92
Na ₂ O	0.37	4.26	2.66	1.56	2.54	2.61	1.15	1.41	0.84	0.32	6.00	1.95	3.91	4.21	2.71
K ₂ O	2.16	1.23	2.49	2.67	1.41	1.22	4.04	1.88	3.01	2.72	0.35	3.94	1.37	1.22	0.74
P ₂ O ₅	0.06	0.02	0.03	0.06	0.05	0.07	0.08	0.06	0.06	0.05	0.07	1.25	0.09	0.09	0.07
CO ₂	1.14	0.24	0.26	1.98	1.17	1.17	0.25	1.28	1.76	2.30	1.32	1.17	0.44	0.55	2.90
FeS ₂	7.07	10.32	13.27	8.50	7.71	3.48	2.71	4.21	6.69	9.72	1.00	0.28	6.96	4.08	5.25
H ₂ O	2.80	2.01	0.90	1.23	2.60	1.65	1.20	1.72	0.72	1.80	2.24	2.40	0.85	1.20	1.05
Сумма	99.23	98.58	100.98	101.20	99.16	99.20	99.48	100.03	100.71	99.22	99.20	99.85	100.40	99.78	100.65
Rb, г/т	32	21	30	46	25	18	23	39	36	80	7	21	23	17	<10
Sr, г/т	40	205	82	47	73	134	161	42	179	30	226	1124	97	58	64
Au, мг/т	3.3	1.6	2.6	–	2.1	7.9	–	1.2	3.5	–	–	–	–	–	–

Примечание. 1, 3 – пирит-хлорит-серицит-кварцевые метасоматиты с просвечивающей структурой эруптивной брекчии (андезит, диоритовый порфитит) и цементирующей массой хорошо раскристаллизованного кварц-плагиоклазового диоритового порфирифта; 2 – то же с остатками альбита; 4–6, 10 – аналогично 1, но с остатками альбита и без брекчиевой структуры; 7–9 – риодацитовые порфиры заметно серицитизированные; 11 – кварц-плагиоклазовый хлоритизированный и сильно альбитизированный диоритовый порфирит с низким содержанием пирита и серицита; 12 – м/з калишпат-альбит-клиноцоизитовая порода, вероятно первичный жильный слессарит или сиенито-диорит; 13–15 – кварц-плагиоклазовые диоритовые порфиры, сильно хлоритизированные и слабо серицитизированные. Ниже порядкового номера приведены номер скважины и глубина взятия образца в метрах. Химические анализы выполнены в ОАО “Уралмеханобр”, определения Rb и Sr – методом ICP-MS в ИГГ УрО РАН, определения Au – нейтронно-активационным методом в ПГО “Уралгеология”. Прочерк означает отсутствие анализа.

ритовые порфириды, тела риодацитов, эруптивные брекчии и безальбитовые метасоматиты по ним. Обломки эруптивные брекчии размером от 0.5 мм до 1–10 м представлены диоритовыми порфиридами и вмещающими вулканитами. Все породы очень сильно гидротермально изменены, причем преобладают пирит-хлорит-серцит-кварцевые метасоматиты с небольшим количеством реликтового альбита (содержание Na_2O варьирует от 0.4 до 1.6 мас. %, табл. 1). Гораздо реже встречаются менее измененные породы, содержащие до 2.7 (и даже 4.3) мас. % Na_2O . Первичный плагиоклаз полностью замещен альбитом и серцитом. Содержание K_2O составляет 1–3 мас. %, свидетельствуя о степени серцитизации плагиоклаза и хлорита (полностью заместившего первичный темноцветный минерал) исходной породы. Количество серцита, представленного исключительно тонкошелушчатой разновидностью размером 0.00n–0.01 мм, обычно не бывает ниже 15–20 об.%. Содержание карбоната не превышает 2 мас. %. Количество пирита варьирует от 4 до 10 мас. %, достигая в отдельных случаях 13 мас. %. Интенсивная пиритизация проявлена в породах всего вскрытого скважинами интервала, в том числе в скважине № 1 до забоя (602 м). Участки с низким содержанием пирита (1–2 мас. %) распространены довольно ограниченно. Иногда наблюдаются микропрожилки и даже макропрожилки пирита шириной до 2–5 см. В отдельных местах сохраняется много хлорита, по которому явно и образовалась большая часть вкрапленного пирита.

Несмотря на столь сильное преобразование пород, в них отчетливо прослеживается первичная порфировая структура. В диоритовых порфиридах наблюдаются немногочисленные вкрапленники кварца и широко распространенные – плагиоклаза, ныне обычно полностью замещенные альбитом или очень тонкозернистым кварц-гидросерцитовым агрегатом. Цементирующая масса имеет кварц-альбитовый состав, причем плагиоклаз обычно в той или иной мере серцитизирован. Размер зерен цементирующей массы составляет 0.01–0.03, реже до 0.07 мм. В эруптивных и тектонобрекчиевых обломки диоритовых порфиридов и основных вулканитов четко прослеживаются в виде теневых обособлений, которые цементируются более поздними кварц-плагиоклазовыми диоритовыми порфиридами. Встречаются тела (возможно жилы) риодацитовых порфиридов и спессартитов (или монцогаббро?). Последние представлены ныне мелкозернистой калишпат-альбит-клиноцоизитовой породой (табл. 1, ан. 12). С учетом данной выше характеристики метасоматических изменений можно полагать, что первичные породы имели преимущественно кварц-диоритовый и плагиориодацитовый состав, а обломки эруптивных брекчии – диоритовый и габброидный составы. Метасоматические преобразования привели к резкому пониже-

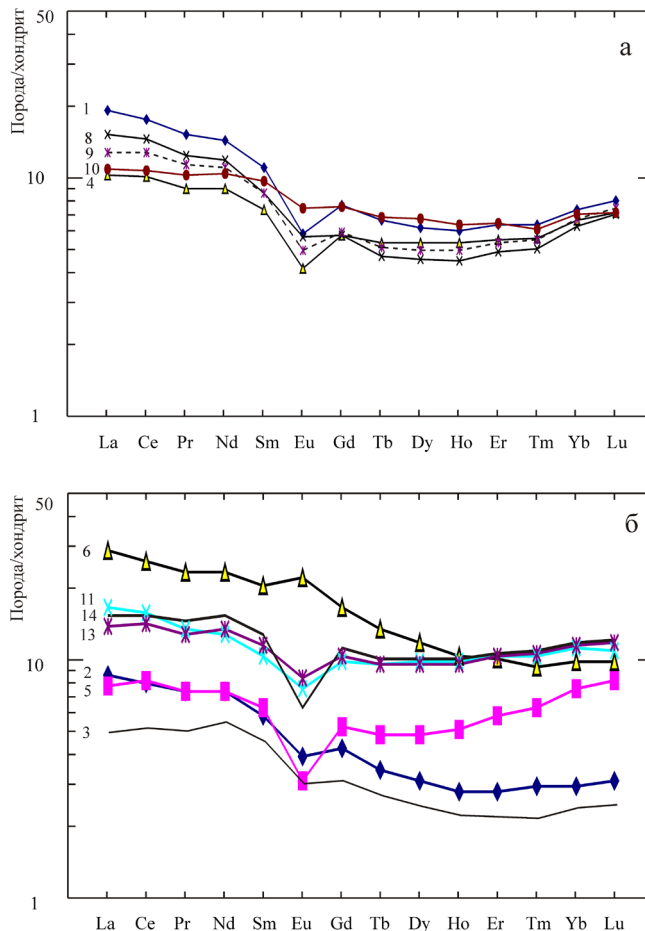


Рис. 1. Спектры РЗЭ в породах Сухоложского проявления.

Номера спектров соответствуют номерам анализов в табл. 1, где приведена характеристика пород.

нию в них содержаний Na, Ca и увеличению K, а также, по-видимому, небольшого количества железа при примерно сохранившемся количестве Mg (хлорит), Al и Ti. Кремнезем во многих случаях, по-видимому, выносился. В С-С3 части профиля (скв. 260–263) степень изменения в верхней части разреза явно уменьшается (содержание Na_2O составляет 2.7–4.2 мас. %, K_2O – 0.7–1.4 мас. %) (табл. 1, ан. 11, 13–15). Однако высокий уровень пиритизации сохраняется.

Для всех образцов (кроме № 6) характерны низкие содержания РЗЭ и четко выраженные Eu минимумы на спектрах (рис. 1, табл. 2). Кроме того, в ряде образцов намечается слабый неодимовый максимум. Для большинства образцов принципиального различия в спектрах РЗЭ между пирит-хлорит-кварцевыми метасоматитами (рис. 1а, Na_2O = 0.3–1.6 мас. %) и слабо-умеренно серцитизированными диоритовыми порфиридами (рис. 1б, Na_2O = 2.5–3.9 мас. %) не наблюдается. Спектры трех образцов (2, 3, 5) находятся на графике несколько ниже указанного сообщества. Возможно, это обусловлено очень высоким содержа-

Таблица 2. Содержание микроэлементов в породах Сухоложского проявления, г/т

	1-217	1-305	1-315	1-400	1-417	1-420	1-454	1-478	1-530	260-35	260-58	261-55
Cu	23	70	9	71	73	306	10	8	64	23	16	45
Zn	45	8	20	18	30	61	24	31	50	21	20	63
Pb	15.4	6.8	2.9	4.5	2.9	11.0	3.8	8.3	16.1	5.8	5.2	8.0
Mo	1.12	1.48	1.15	1.15	2.19	1.06	2.16	1.61	6.18	2.31	1.63	1.72
Ag	0.06	0.06	0.02	0.11	0.09	0.31	0.05	0.08	0.56	0.07	0.06	0.16
Sn	1.94	2.68	0.91	1.08	2.20	2.10	1.45	2.40	1.92	2.15	1.72	1.23
Sb	1.06	1.73	0.33	1.12	0.92	2.30	0.52	0.76	2.12	1.77	1.32	1.30
Te	0.23	0.19	0.10	0.22	0.28	0.55	0.03	0.12	0.74	0.09	1.12	0.35
W	1.72	1.79	0.61	1.74	1.70	0.81	3.45	1.32	2.11	3.37	3.06	3.08
Re	0.01	0.01	0.02	0.02	0.09	0.01	0.03	0.02	0.04	0.00	0.01	0.00
Tl	0.18	0.13	0.16	0.24	0.15	0.10	0.22	0.20	0.46	0.10	0.13	0.13
Bi	0.17	0.38	0.36	0.29	0.42	0.22	0.24	0.36	0.51	0.11	0.24	0.02
Ti	4091	3393	2828	3847	3225	3061	1200	1363	3883	3147	2662	2786
V	267	76	151	285	241	200	52	110	279	167	122	81
Cr	197	93	70	135	107	51	425	110	95	156	205	215
Mn	359	214	234	779	445	898	252	312	1200	562	236	1005
Co	19.7	27.7	28.6	26.6	18.6	20.2	9.2	17.3	20.0	12.3	13.6	10.7
Ni	12.7	16.1	17.9	10.0	9.7	8.2	11.1	6.4	9.8	9.1	11.9	7.3
Li	5.18	8.23	7.94	6.90	7.79	5.92	3.62	–	2.47	16.05	14.48	6.93
Be	0.52	0.21	0.31	0.51	0.38	0.39	0.45	–	0.68	0.40	0.52	0.35
Sc	32.5	48.1	45.4	34.1	34.6	31.4	10.0	–	34.1	27.3	23.4	19.2
Cs	0.76	0.70	0.63	1.28	0.71	0.63	0.85	0.76	1.84	0.23	1.06	0.52
Ba	419	138	179	179	144	120	289	578	386	75	188	207
Y	13.08	4.07	3.64	10.88	8.98	20.34	9.73	11.31	13.54	18.22	18.45	19.12
Zr	67.34	13.98	6.85	47.04	61.09	64.82	77.63	68.34	39.26	91.34	76.62	82.94
Hf	1.98	0.44	0.26	1.51	1.64	1.84	2.23	1.84	1.24	2.38	2.27	2.33
Nb	0.97	1.70	0.15	0.81	0.88	0.96	0.73	0.58	0.78	1.34	0.90	1.11
Ta	0.09	21.31	0.07	0.07	0.15	0.15	0.07	0.05	0.06	0.21	0.25	0.30
La	6.83	2.77	1.57	3.51	2.48	9.59	5.37	4.42	3.77	5.49	4.56	4.98
Ce	16.51	6.67	4.36	9.17	6.87	22.98	13.46	11.71	9.67	13.53	12.11	13.27
Pr	2.11	0.92	0.64	1.21	0.92	3.03	1.72	1.55	1.39	1.73	1.66	1.86
Nd	9.72	4.54	3.35	5.86	4.50	14.90	7.86	7.27	6.81	7.98	8.38	9.55
Sm	2.35	1.13	0.89	1.53	1.22	4.17	1.82	1.80	2.05	2.07	2.29	2.57
Eu	0.45	0.28	0.22	0.31	0.22	1.71	0.44	0.38	0.59	0.56	0.63	0.47
Gd	2.16	1.12	0.81	1.60	1.37	4.60	1.59	1.63	2.15	2.66	2.82	3.02
Tb	0.33	0.16	0.13	0.27	0.23	0.66	0.23	0.26	0.35	0.47	0.47	0.49
Dy	2.15	0.98	0.77	1.83	1.58	3.99	1.54	1.70	2.33	3.28	3.21	3.43
Ho	0.47	0.20	0.16	0.41	0.38	0.78	0.34	0.38	0.50	0.73	0.72	0.76
Er	1.44	0.58	0.45	1.24	1.25	2.21	1.09	1.20	1.47	2.29	2.27	2.37
Tm	0.23	0.10	0.07	0.20	0.21	0.32	0.18	0.19	0.22	0.36	0.37	0.37
Yb	1.66	0.61	0.49	1.47	1.61	2.13	1.40	1.51	1.58	2.41	2.48	2.54
Lu	0.28	0.10	0.08	0.25	0.27	0.33	0.24	0.26	0.25	0.37	0.40	0.41
Th	2.07	0.54	0.28	2.18	1.69	1.83	2.52	1.50	1.72	2.24	1.61	1.50
U	0.97	0.11	0.06	0.98	0.71	0.83	0.88	0.81	0.65	1.11	1.84	1.00

Примечание. Анализы выполнены методом ICP-MS в ИГиГ УрО РАН, см. табл. 1.

нием пирита в двух из них (10 и 13 мас. %). Образец 6 характеризуется специфическими отличиями – высоким содержанием РЗЭ и положительной европиевой аномалией. Петрохимически представлен обычным диоритовым порфиритом. По данным

ICP-MS несколько повышенные содержания рудных элементов зафиксированы в скв. 1 только на глубине 420 м (табл. 1, 2). В большинстве других образцов наблюдаются, несмотря на высокие содержания пирита, близкларковые содержания руд-

ных элементов. Только в двух участках встречены повышенные концентрации некоторых рудных элементов (табл. 1, в г/т): на гл. 420 м (Cu – 306, Au – 0.008, Pb – 11, Ag – 0.3, Te – 0.6) и 530 м (Pb – 16, Ag – 0.6, Mo – 6, Te – 0.7). **Вместе с тем, Н.Н. Гореловым** в нескольких интервалах мощностью 2–5 м по скв. 1 установлены высокие содержания рудных элементов: Cu до 0.1–0.7 мас. %, Zп – до 1.0 мас. %, Au – до 0.2 г/т, Ag – до 3 г/т.

Вышеназванные геологи рассматривали данное проявление как часть колчеданосной системы. Однако порфировый гипабиссальный или субвулканическо-гипабиссальный облик пород свидетельствует, скорее, о необходимости отнесения их к медно-порфировой системе. По петрогенному составу они не отличаются от медно-порфировых диоритоидов Южного Урала. Вместе с тем, принципиальной особенностью сухоложских гранитоидов является наличие Eu аномалии в спектрах РЗЭ, отсутствующей в южно-уральских медно-порфировых диоритоидах [3]. Выдающейся особенностью проявления является сильнейшие пиритизация и метасоматическое изменение пород при обычно близкларковом содержании рудных элементов. Причины столь гигантского привноса серы, обычно не сопровождающегося значительным привносом рудных элементов, пока неясны. Можно предварительно предположить, что ореол пиритизации является верхней частью (чехлом) нижележащего очень крупного медно-порфирового месторождения “диоритовой” модели. Предполагается изотопно-геохимическое изучение должно позволить сделать более определенные выводы.

Авторы признательны Д.В. Киселевой и Н.В. Чердниченко за помощь в работе.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект 06–05–64053).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Грабежев А.И., Белгородский Е.А.* Продуктивные гранитоиды и метасоматиты медно-порфировых месторождений (на примере Урала). Екатеринбург: УрО РАН, 1992. 199 с.
2. *Грабежев А.И., Кузнецов Н.С., Пужаков Б.А.* Рудно-метасоматическая зональность медно-порфировой колонны натриевого типа (парагонитсодержащие ореолы, Урал). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1998. 171 с.
3. *Грабежев А.И., Шардакова Г.Ю., Ронкин Ю.Л.* Изотопы Sr, Nd и редкие земли в породах и минералах медно-порфировых систем главной вулканогенной зоны Урала // Геология Урала и сопредельных территорий. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. С. 330–343.
4. *Огородников В.Н., Поленов Ю.А., Сазонов В.Н. и др.* Геологические маршруты по Сухоложскому и Каменскому полигонам. Екатеринбург: УГГА, 2002. 295 с.