

ПЕТРОГЕОХИМИЯ МЕТАСОМАТИТОВ САПОВСКОЙ СУБВУЛКАНИЧЕСКОЙ ДЕПРЕССИИ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

© 2012 г. А. И. Грабежев, А. В. Коровко*, Н. В. Чердниченко, Д. В. Киселева

Саповская вулcano-субвулканическая депрессия площадью около 170 км² находится в Пышминско-Петрокаменской структуре – восточном обрамлении среднеуральской части Тагильской вулканогенной зоны. Краткая геологическая характеристика дана в [1, 3, 4]. Депрессия сложена породами базальт-андезит-дацитовый формации при преобладании субвулканических и экстрезивных образований основного и среднего состава. Широко развиты секущие дайки плагиоклазовых базокварцевых диоритовых порфиритов гипабиссально-субвулканической фации. Стратиграфический возраст формации – средний девон. В западном обрамлении депрессии, в ее придонной части, находятся нечетко зональные габбро-диорит-гранодиорит-гранитовые Петрокаменский и Шумихинский массивы петрокаменского комплекса, которые рассматриваются как комагматы вулканогенной формации. Изучение большого числа шлифов позволило нам составить схему региональной метасоматической зональности депрессии [2], породы которой повсеместно подверглись сильному преобразованию.

Наиболее ранние изменения представлены пропилитами хлорит-эпидот-альбитовой фации. Широко распространены деанортитизация и сосюритизация плагиоклаза. Зерна эпидота, сформировавшиеся, по-видимому, по амфиболу или пироксену, почти всегда замещаются по периферии полупрозрачной каймой, состоящей из продуктов разложения эпидота. Более чем на половине площади ореола пропилиты содержат 1–3 мас. % пирита. Интенсивность эпидотизации и сосюритизации резко усиливается в локальных зонах мощностью от нескольких до 50–150 м. Эти процессы сопровождаются формированием двух типов рудно-метасоматических тел. Наибольший практический интерес представляют [3] хлорит-магнетит-эпидотовые и хлорит-магнетит-эпидот-гранатовые скарны (скарноиды), находящиеся вне интрузивных тел (Медный рудник, Старо-Саповское и Старо-Паньшинское месторождения, два первых обрабатывались в XIX веке).

Исключительно интересен другой – обогащенный пиритом (4–25 мас. %) хлорит-эпидот-альбитовый тип апобазальтоидных метасоматитов (пример – Верхнее-Саповское пиритовое проявление, породы которого детально и рассматрива-

ются в настоящей статье). Вертикальное протяжение тела с густовкрапленным пиритом превышает 200 м. На пропилиты накладывается третий наиболее поздний тип изменений – зоны слабой серицитизации (серицит-хлоритовая, кварц-серицит-карбонат-хлоритовая ассоциации), имеющие горизонтальную мощность от нескольких до 20–300 м [2]. Эти изменения наиболее распространены в северной и центральной частях ореола. По одной из скважин их вертикальная мощность достигает 500 м, ниже они сменяются бескарбонатной кварц-серицит-хлоритовой ассоциацией. В пропилитах юго-западной части ореола наблюдаются участки мелкочешуйчатого биотита.

Несколько повышенные содержания Cu (до 0.01–0.03 мас. %), Zn (до 0.01 мас. %), Pb (до 30–70 г/т) нередко наблюдаются во всех типах метасоматитов по базальтоидам и диоритовым порфиритам. Абсолютно преобладают слабо контрастные мультипликативные ореолы Zn, Pb, **гораздо реже наблюдаются** низкоаномальные ореолы Cu. Ореолы с содержаниями меди 0.05–0.1% весьма редки, и их мощность не превышает 100–300 м, они быстро выклиниваются по простиранию. Участки с содержаниями меди 0.2–0.7% (до 2%) единичны и имеют мощность не более 1–5 м. Наиболее контрастные геохимические ореолы меди и молибдена проявлены в центральной части Саповской структуры, где максимально развита серицитизация. Значительный привнос рудных элементов наиболее характерен для продуктов кислотного выщелачивания в скарнах. В биотитсодержащих пропилитах юго-западной части ореола также встречены мелкие рудные тела с содержанием меди 0.1–0.2 мас. %. Серицитизация часто сопровождается, судя по нашим нейтронно-активационным анализам, привносом золота. Из 26 проб близкларковые или несколько повышенные содержания золота (3.6 ± 2.0 мг/т) встречены в 12 пробах, гораздо более высокие содержания (21.2 ± 9.3 мг/т) в 9 пробах и очень высокие (92–390 мг/т) в 5 пробах. Рудные минералы (пирит, халькопирит, сфалерит) представлены исключительно вкрапленностью. Рудные прожилки, а также гематит-пирит-кварцевые, карбонат-эпидотовые, карбонат-кварц-эпидотовые прожилки встречаются весьма редко. Все метасоматические и геохимические зоны измененных пород обычно вытянуты в субмеридиональном направлении, их

*Среднеуральская геолого-разведочная экспедиция, г. В. Пышма Свердловской области

протяженность сильно варьирует – от первых десятков метров до нескольких километров. Приведенные данные свидетельствуют о субвулканическом срезе молибден–медно–порфировой колонны, основная рудная часть которой должна находиться на более глубоком уровне.

Остановимся на характеристике недавно фрагментарно разбуренного Верхне-Саповского сульфидного (пиритового) проявления, западной частью охватывающего северную периферию Старо-Саповского рудного поля на широте Медного (Федьковского) рудника. В западной части профиля в районе Медного Рудника пройдена скважина № 3 (глубина 110.0 м). Здесь содержание пирита в неравномерно скарированных породах основного и среднего состава, залегающих в надинтрузивной позиции в юго-восточном экзоконтакте Петрокаменского массива, за исключением мелкоапластовых сульфидно-магнетитовых рудных тел, невелико: <1–3 мас. %. По мере продвижения на восток количество пирита, судя по данным электроразведочных работ (метод ВП–СГ), постепенно увеличивается, достигая максимума ($\eta_k = 6\%$) в 460 м к востоку от скважины № 3. Во вскрытых пройденной здесь скважиной № 10 (глубина 179.0 м) породах постоянно фиксируется пирит в количестве 4–6 (и более) мас. %. Далее на восток интенсивность электрического поля несколько снижается, но через 650 м к востоку от скважины 10 достигает очень высоких значений ($\eta_k = 15\text{--}20\%$). Здесь, в осевой части депрессии, несколько севернее её центральной части, откартирована аномалия поляризуемости ($\eta_k > 3\%$) размером 5×1 км субмеридионально-простирания. В западной части этой аномалии в

550 м к востоку от скважины № 10 пройдена скважина № 5 глубиной 155 м. В вулканитах, вскрытых скважиной № 5 (собственно Верхне-Саповское пиритовое проявление), постоянно наблюдается обильная вкрапленность пирита. Его содержание очень сильно варьирует, 5–26 мас. %, редко опускаясь до 1–3 мас. %. Крайне неравномерное распределение пирита доказывается также данными электрокаротажа ствола скважины № 5 (методы КС, ПС, ВП). Необходимо подчеркнуть, что в дайках субвулканических припилитизированных базокварцевых диоритовых порфиритов количество пирита не превышает 0.5–2 мас. %. (табл. 1).

На петрохимических диаграммах (рис. 1) анализы диоритовых порфиритов образуют единый тренд (с разрывом) с первичными и сильно пиритизированными базальтами, что свидетельствует о вероятном их генетическом единстве. В базальтоидах и диоритовых порфиритах постоянно присутствуют вкрапленники деанортитизированного (редко слабо серицитизированного) плагиоклаза в количестве 15–25 мас. %. Первичный темноцветный минерал замещен хлорит-эпидотовой массой, изредка наблюдается актинолит. Размеры зерен микролейстовой, иногда аллотриоморфнозернистой цементирующей массы сильно варьируют в различных образцах от 0.005 до 0.1–0.2 мм, что указывает на преимущественно субвулканический тип магматизма. В целом, метасоматиты необходимо отнести к фации пирит-хлорит-эпидот-альбитовых пропилов. Широко распространены мелкие тела эпидотгранатовых и гранатовых скарнов мощностью до 1–3 м, в различной мере замещенных сульфидно-

Таблица 1. Химический состав пород Саповской структуры, мас. % (Rb и Sr в г/т)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7
	4-51	5-33.2	5-40.8	5-51.8	5-95	5-107	10-87.8
SiO ₂	49.66	47.00	32.00	36.00	64.12	63.47	62.29
TiO ₂	0.77	0.91	0.96	0.84	0.46	0.47	0.57
Al ₂ O ₃	14.82	16.68	21.00	19.81	15.09	15.13	15.26
Fe ₂ O ₃ *	14.47	4.96	2.25	1.03	5.71	4.83	8.05
MnO	0.19	0.19	0.13	0.16	0.13	0.13	0.10
MgO	4.60	5.67	5.17	4.92	3.45	3.21	2.99
CaO	9.63	7.57	5.73	6.01	4.34	4.21	5.07
Na ₂ O	2.0	2.5	1.9	2.0	3.3	3.5	2.9
K ₂ O	1.78	0.04	0.76	0.64	0.40	0.41	0.30
P ₂ O ₅	0.22	0.27	0.34	0.26	0.16	0.16	0.18
FeS ₂	0.06	9.08	22.86	21.69	0.79	2.58	0.18
H ₂ O	2.55	4.10	4.02	3.90	2.26	3.14	2.25
Сумма	100.75	98.97	97.02	97.26	100.21	101.24	100.14
Fe ₂ O ₃ **	14.50	11.06	17.59	15.58	6.23	6.55	8.19
Rb	34.8	0.8	10.5	8.7	5.9	5.8	4.2
Sr	304	258	371	365	248	200	351

Примечание. 1 – темно-серый плагиоклазовый базальт-диабаз пироксеновый (?) субвулканического типа умеренно гидросерицитизированный и сосюртитизированный; 2 – светло-серый субвулканический плагиоклазовый базальт-диабаз, сильно эпидотизированный и пиритизированный; 3, 4 – то же, очень сильно пиритизированные и местами слабо гидросерицитизированные; 5–7 – серые плагиоклазовые диоритовые порфириты, сильно эпидотизированные и хлоритизированные, местами содержат большое количество пирита. Fe₂O₃* – силикатное железо, Fe₂O₃** – все железо.

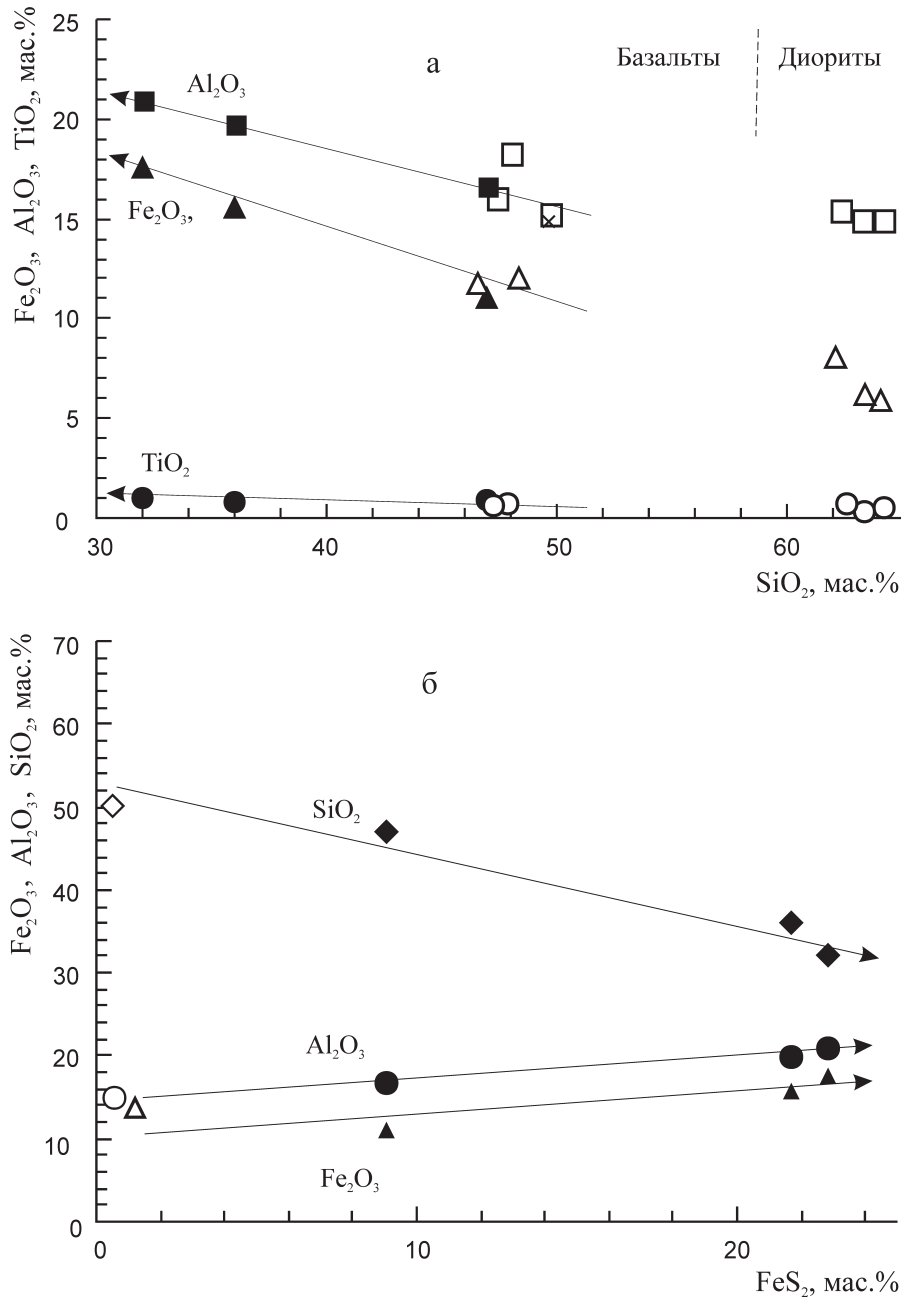


Рис. 1. Корреляция между содержаниями кремнезема и других компонентов в базальтах и диоритовых порфиритах (а), между пиритом и другими компонентами (б) в базальтах Саповского пиритового проявления.

Минимально пиритизированные породы показаны незачерненными знаками (в "а" приведены анализы авторов и [4]). Направление тренда указывает на усиление степени пиритизации базальта.

магнетит-кварц-карбонатной (\pm актинолит, хлорит) ассоциацией. Изредка наблюдается сильная перекристаллизация пропилитов с образованием эпидот-альбитовых метасоматитов. Около жилы с пористым пиритом встречен олигоклазит, сохранивший структуру порфировой породы. Очень хорошо выражена прямая линейная зависимость между Ti и R для всех пород проявления ($r = 0.95$, $n = 7$). Тренд для базальтоидов выходит на диаграмме очень далеко от нуля координат, то есть пиритизация происхо-

дила в условиях примерно постоянного геометрического объема при сильной миграции компонентов. Наблюдается значительный привнос Al , Fe и вынос Si , а также частично Ca . В результате образуется хлорит-эпидот-пиритовая ассоциация и сохраняется деанортитизированный плагиоклаз.

В пропилитизированных базальтах Верхне-Саповского пиритового проявления фиксируются очень низкие, обычно близкларковые, содержания рудных элементов, как по производственно-

Таблица 2. Содержание микроэлементов в породах Саповской структуры, г/т

Элемент	Скважина, глубина						
	4-51	5-33.2	5-40.8	5-51.8	5-95	5-107	10-87.8
	1	2	3	4	5	6	7
Cu	207.1	42.0	29.5	17.7	10.1	10.4	45.0
Zn	56.1	31.7	32.6	39.3	25.4	26.1	41.1
Pb	2.74	2.03	2.78	7.37	3.29	2.71	4.81
Mo	0.72	0.13	2.85	0.16	0.37	1.37	0.77
Pd	1.24	1.31	2.20	1.24	3.50	3.57	3.77
Pt	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05
Rh	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Ir	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
Au	0.03	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	0.04
Ag	0.20	0.06	0.12	0.07	0.17	0.27	0.24
Cd	0.07	0.04	н/о	0.05	0.10	0.08	0.10
As	6.57	3.58	6.35	3.02	2.40	3.09	4.24
Sb	0.35	0.52	0.33	0.53	0.36	0.30	0.82
Te	0.03	0.80	2.52	1.24	0.06	0.24	0.01
Se	0.70	2.43	4.30	5.25	0.63	0.82	0.63
Tl	0.80	0.25	0.28	0.35	1.48	0.23	0.31
Bi	0.05	1.45	4.01	3.70	0.28	0.26	0.11
Sn	0.72	1.64	1.37	1.99	1.13	1.01	0.97
W	0.89	0.36	0.62	0.95	0.86	1.54	0.69
Ti	2912	3514	4444	3912	2053	2129	2323
V	245	209	254	168	84	74	99
Cr	90	84	30	57	40	51	50
Mn	849	807	591	761	538	550	385
Co	37.2	21.7	51.4	26.5	9.4	18.5	10.0
Ni	26.3	17.8	17.0	25.8	6.2	7.2	6.2
Li	1.95	1.51	4.11	3.57	1.65	1.75	2.18
Be	0.25	0.36	0.69	0.60	0.69	0.69	0.71
Sc	25.0	23.8	18.7	23.0	11.8	10.7	12.2
Ga	12.6	14.8	18.8	15.9	13.2	11.7	13.3
Ge	1.29	1.22	0.87	0.95	1.11	0.86	1.28
Rb	34.8	0.8	10.5	8.7	5.9	5.8	4.2
Cs	0.81	0.13	1.06	0.79	0.47	0.36	0.24
Sr	304	258	371	365	248	200	351
Ba	234	25	133	96	150	135	189
Y	12.7	15.6	19.6	19.5	16.9	17.0	16.0
Zr	33.5	44.2	73.4	44.5	115.2	120.1	114.0
Hf	1.11	1.24	2.05	1.32	3.31	3.29	3.31
Nb	1.27	1.44	2.22	1.61	5.12	5.13	4.81
Ta	0.19	0.19	0.27	0.22	0.79	0.73	3.92
Th	1.12	1.53	2.35	1.57	5.30	5.04	5.50
U	0.71	1.35	1.03	0.82	2.72	2.43	2.77
La	8.66	9.03	9.78	8.46	17.26	16.48	19.51
Ce	20.76	21.61	23.06	19.87	37.08	35.04	40.93
Pr	2.68	2.91	3.15	2.65	4.38	4.17	4.83
Nd	12.55	14.07	15.14	12.55	18.44	17.82	20.00
Sm	3.09	3.55	4.07	3.46	4.07	3.97	4.36
Eu	1.11	1.28	1.12	1.10	1.13	1.03	1.26
Gd	3.42	3.55	4.15	3.90	3.90	3.75	4.24
Tb	0.50	0.52	0.65	0.64	0.59	0.57	0.62
Dy	3.26	3.41	4.12	4.18	3.77	3.64	3.89
Ho	0.67	0.70	0.85	0.87	0.78	0.76	0.80
Er	1.90	2.00	2.45	2.51	2.36	2.32	2.36
Tm	0.27	0.28	0.35	0.35	0.35	0.35	0.36
Yb	1.75	1.82	2.25	2.25	2.36	2.34	2.42
Lu	0.27	0.27	0.33	0.33	0.37	0.36	0.37
S, мас. %	0.03	4.8	12.2	11.5	0.4	1.4	0.1

Примечание. Характеристика пород приведена в табл. 1. Жирным шрифтом выделены минимально-аномальные содержания элементов.

му опробованию, так и по нашим данным ICP-MS (табл. 2). Жильные диоритовые порфириды практически стерильны в отношении рудных элементов. Зато в них наблюдается, по сравнению с пропилизированными базальтами, повышенные содержания соответственно (г/т): TR (97–106 и 61–71), Zr (115–120 и 35–73), Ta (0.7–3.9 и 0.2–0.3), U (2.4–2.8 и 0.7–1.4), Th (5.0–5.5 и 1.1–2.4), Mo (0.4–1.4 и 0.1 в несерицитизированной породе), Nb (4.8–5.1 и 1.3–2.2). Это свидетельствует о принадлежности диоритовых порфиридов к наиболее поздним образованиям, отвечающим высокой степени дифференциации. Содержания V, Co, Ni по сравнению с базальтами заметно ниже. Генетическое единство базальтов и диоритовых порфиридов подтверждается и приуроченностью всех анализов к единому тренду на графиках Zr–Hf, Nb–Ta, U–Th, Rb–Cs (кроме ан. 1). Между Rb и Sr, Sr и Ba корреляция отсутствует. Диоритовые порфириды характеризуются большими содержаниями легких РЗЭ по сравнению с базальтами (рис. 2). Интенсивная пиритизация базальтов не сопровождается миграцией легких РЗЭ, в то время как тяжелые РЗЭ несколько привносятся.

На Верхне-Саповском пиритовом проявлении небольшой привнос халькофильных элементов происходил преимущественно в локальных зонах слабой серицитизации (табл. 2). Серицитизированные базальты содержат 0.6–1.8 мас. % K_2O , 9–35 г/т Rb и 0.8–1 г/т Cs. Количество Cu в них может достигать 200–500 г/т, однако обычное содержание Cu в пропилизированных базальтах составляет 18–42 г/т. Для Zn эти значения отвечают соответственно 100 и 30–40 г/т, а Mo – 0.7–3.0 и 0.1–0.2 г/т. В серицитизированных и сильно пиритизированных апобазальтовых пропилитах повышаются содержания и халькофильных микроэлементов (г/т): As – до 7, Te – до 30, Se – до 6, Bi – до 4. Палладий резко преобладает над платиной. Для апатита из пород Саповской структуры характерно повышенное содержание S, по ми-

кродондому анализу оно составляет $(0.05–0.08) \pm 0.01$ мас. %. По анализу ICP-MS с хроматографической подготовкой сборный концентрат сульфидов (почти на 100% пирит, проба Сапа-1пи) из четырех образцов сильно пиритизированных пропилизированных базальтов содержит (г/т): Pd – 0.32, Pt – 0.06 Au – 3.6. Сульфидные концентраты из трех других проб пропилитов проанализированы без хроматографической подготовки. Концентрации рудных элементов возрастают в них от пропилизированных к серицитизированному пропилиту, соответственно (г/т): Pd – 0.22, 0.52 и 1.42, Pt – н/о, н/о и 0.03, Au – 0.26, 0.23 и 0.50, Ag – 0.21, 0.30 и 2.0, Tl – 9, 110 и 347, Cu – 45, 64 и 394, Mo – 0.5, 0.4 и 11. Таким образом, хотя сульфидные концентраты представлены почти на 100% пиритом, однако они явно обогащены платиноидами и золотом. Вероятно, привнос этих элементов происходил при пропилизации. Возможно, существовало несколько стадий образования пирита. Так, пирит из прожилка мощностью 5 см, сопровождающегося каймой полной альбитизации диоритового порфирита, выделяется минимальным количеством (г/т) Cd (0.11), As (5.5), Te (2.3), Tl (9), Bi (1.0) при повышенном – Sn (2.1) и W (1.5). При наложении серицитизации на пропилиты происходит увеличение количества этих элементов, а также небольшой привнос Cu и Mo. Содержания в пропилитах других халькофильных элементов находятся на кларковом уровне (г/т): Zn – 15–30, Pb – 6–9, Cd – 0.1–1.1, As – 6–26 и т.д. Количество Re не превышает 1–2 мг/т. Величина $\delta^{34}S$ в прожилковом и вкрапленном пирите по скв. № 5 и 13 весьма стабильна, составляя +1.1...+1.7‰ (9 ан.) за исключением одной пробы (+3.5‰). В скв. № 4 в небольшом интервале наблюдается значительное изменение изотопного состава анкерита. Прожилковый анкерит с гл. 78 м характеризуется обычным составом (‰) – $\delta^{13}C = -3.9$, $\delta^{18}O = +11.2$. На глубине 92.5 м анкерит из обособления размером 3 см

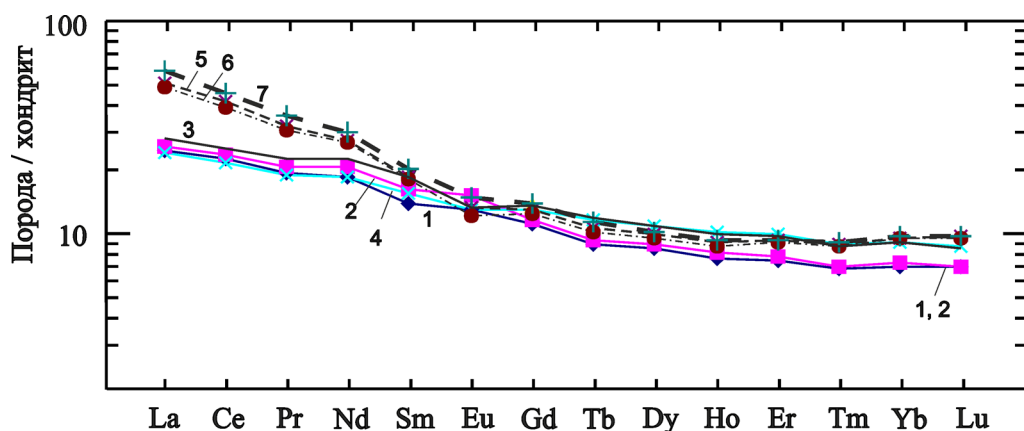


Рис. 2. Нормированное по хондриту распределение РЗЭ в породах Саповского пиритового рудопроявления.

1–7 – см. в табл. 1.

переменного цвета (от серого до розового), включающего жеоду с мелкими серыми кристаллами, имеет состав (‰): $\delta^{13}\text{C} = -3.5$, $\delta^{18}\text{O} = +1.9$.

Таким образом, сульфидно-метасоматические образования Саповской вулканической депрессии, и в том числе рассмотренное проявление густо-крапленного пирита, отвечают, скорее всего, верхней субвулканической части медно-порфировой колонны (пиритовый чехол). На современном эрозионном срезе в узких субмеридиональных тектонических структурах возможна локализация мелко-масштабных протяженных медно-порфировых рудных тел, их кор выветривания и эпитермального Zn-Au оруденения.

Авторы признательны В.Г. Крживицкой и другим коллегам за помощь в работе.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект 09-05-00289).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ведерников В.В.* Эволюция магматизма Петрокаменской структурно-формационной зоны (Средний Урал). Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. 26 с.
2. *Грабежев А.И., Белгородский Е.А.* Продуктивные гранитоиды и метасоматиты медно-порфировых месторождений (на примере Урала). Екатеринбург: УрО РАН, 1992. 199 с.
3. *Коровко А.В., Молошаг В.П.* Новые данные по рудоносности Петрокаменского рудного узла (Средний Урал) // Ежегодник-2007 ИГиГ УрО РАН. Екатеринбург, 2008. С. 316–320.
4. *Смирнов В.Н., Ведерников В.В., Грабежев А.И.* Особенности среднедевонских вулканоплутонических ассоциаций Среднего Урала, сопровождающихся минерализацией медно-порфирового типа // Рудоносные и рудные формации Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. С. 13–22.