

ГИДРОТЕРМАЛИТЫ ВОСТОЧНО-АРТЕМОВСКОГО МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МАССИВА (СРЕДНИЙ УРАЛ)

А. И. Грабежев, А. В. Коровко*

Диоритоиды массива, петрогеохимическая характеристика дана в другой статье в этом же сборнике [1], повсеместно, в той или иной степени, серицитизированы (5–10 и до 15–20 об. % серицита размером 0.00п–0.02 мм модификации $2M_1$), карбонатизированы (5–15 об. % анкерита), хлоритизированы и деанортитизированы. Первичный амфибол отсутствует полностью. Сильно серицитизированные диоритоиды (20–30 об. % серицита и более), в отличие от минимально измененных (до 10–15 об. % серицита), отличаются только несколько повышенным содержанием калия (3–4 мас. %) и пониженным натрия, магния и, иногда, кальция, железа. Остальные компоненты перераспределяются между разными фазами. РЗЭ преимущественно выносятся, как это обычно и бывает при кислотном выщелачивании (в связи с уменьшением количества плагиоклаза). Соответственно сумма РЗЭ понижается до 32–46 г/т, спектры примерно параллельны спектрам исходных диоритоидов. Наблюдается небольшой вынос ряда микроэлементов. Часто встречаются (хлорит)-серицит-кварцевые метасоматиты, обычно характеризующиеся резким преобладанием кварца над серицитом. В серицит-кварцевом метасоматите первичный изотопный состав (на возраст 369 млн. лет) Sr составляет 0.7039, а ϵNd равен +6.6, то есть не отличаются от минимально измененных диоритов. Встречаются также участки сильной альбитизации. Кроме того, и это является главной особенностью данного массива, гранитоиды во всем объеме первой фазы очень сильно сульфидизированы (абсолютно преобладает пирит). В диоритовых порфиридах второй фазы сульфиды практически отсутствуют.

Наблюдаются кварцевые, анкерит-кварцевые, анкеритовые, сульфидно-анкеритовые прожилки мощностью 0.1–5 мм, изредка содержащие сульфиды. В скважине М-1013 на гл. 80.4 м крупнозернистая кварцевая жила с молибденитом сечет прожилков карбоната.

В прожилковых анкеритах (с аксессуарным количеством кадмиевого сфалерита) величина $^{87}Sr/^{86}Sr$ несколько выше, чем во вмещающих их диоритоидах, составляя 0.7044 в обоих изученных образцах. Иной, по сравнению с диоритоидами, облик (“горбообразный” при Eu), имеет и спектр РЗЭ (табл. 2, рис. 2 в [1]). Сумма РЗЭ составляет 16.0 и 20.5 г/т,

$(La/Yb)_N = 0.38$ и 0.44 , $(La/Eu)_N = 0.12$ и 0.28 . По данным многих исследователей, “горбообразный” тип спектров РЗЭ может свидетельствовать (хотя вопрос остается открытым) о взаимодействии флюида с вмещающими породами. На это же указывает и несколько повышенная величина $^{87}Sr/^{86}Sr$ в карбонатах (по сравнению с диоритами). Тем не менее, судя по низкому $^{87}Sr/^{86}Sr$ отношению, флюид явно имел магматическую природу. Это же подтверждается и изотопным составом углерода. Величины $\delta^{13}C$ анкеритов составляют (2 пробы) -3.9 и -3.9% (PDB), а $\delta^{18}O = 13.7$ и 13.6% (SMOW). С учетом коэффициентов фракционирования расчетная величина $\delta^{18}O$ во флюиде для $300^\circ C$ составляет 7.8% , то есть отвечает магматической воде. Изотопные особенности серицит-кварцевого метасоматита ($^{87}Sr/^{86}Sr = 0.7039$, $(\epsilon Nd)_t = +6.6$), пирита ($\delta^{34}S = -2.8 \dots -3.2\%$, CDT) и прожилкового анкерита ($^{87}Sr/^{86}Sr = 0.7044$, $\delta^{18}O = 13.6$ и 13.7% , SMOW) характерны для производных магматического (глубинного) очага. В целом, метасоматоз диоритоидов первой фазы не отличается от такового южно-уральских объектов, являясь классическим для месторождений “диоритовой” модели.

Диоритовые порфириды второй фазы подверглись тем же изменениям, кроме сульфидизации, что и диоритоиды первой фазы. Для субвулканитов так же характерно широкое распространение интенсивнейшей анкеритизации (до 14–20 мас. % CO_2 , табл. 1, ан. 10, 11 – в [1]), иногда с полным замещением анкеритом отдельных участков пород мощностью в десятки сантиметров. Очень хорошо выражена для всех образцов (за исключением ан. 8 и 9) прямая зависимость между Ti и P свидетельствует о диоритовом эдукте карбонатных метасоматитов.

Для всех пород, в том числе существенно анкеритовых метасоматитов, наблюдается прямая зависимость между содержаниями Rb и K, свидетельствующая о едином источнике магм и флюида. Все диоритоиды и метасоматиты приурочены, в первом приближении, к одному тренду, уходящему на диаграмме $Al_2O_3-TiO_2$ примерно в ноль координат. Это может свидетельствовать, во-первых, о генетическом единстве диоритоидов обеих фаз (в том числе субстрата метасоматитов), а, во-вторых, об образовании существенно серицит-анкеритовых и серицит-кварцевых метасоматитов в условиях рез-

* Среднеуральская геологоразведочная экспедиция, В. Пышма Свердловской обл.

кого уменьшения геометрического объема, а не выноса Al и Ti. Судя по почти полному отсутствию пирита и рудных элементов, диоритовые порфиры второй фазы и тела анкеритовых метасоматитов являются послерудными. Возможный альтернативный вариант – растворение сульфидов при интенсивной послерудной анкеритизации.

Диоритоиды первой фазы, а также комагматичные им вышележащие вмещающие вулканиты северной части массива (мощностью до 600 м), повсеместно сильно пиритизированы, за исключением тела субвулканических диоритовых порфиритов восточной части массива. Кроме пирита, встречаются также (судя по наблюдениям В.П. Молошага) немногочисленные зерна халькопирита, молибденита, сфалерита, галенита, блеклой руды, пирротина, герсдорфита, сформировавшиеся в несколько стадий, разделенных синрудным дроблением, после отложения пирита. Распределение серы и рудных элементов детально изучено по двум стометровым скважинам (рис. 1), вскрывающим зоны максимальной электропроводности и находящиеся на расстоянии 5.5 км друг от друга. Пирит образует неравномерно распределенную вкрапленность, реже встречаются сегрегации, размер которых может достигать нескольких сантиметров. Большая часть пирита развивается по хлориту за счет местного железа. Содержания серы значительны (рис. 2). По скв. 1013 (глубина 100 м, интервал опробования в среднем 2 м, 28 проб) распространенность содержаний пирита (мас. %) отвечает: 2–4 – 36, 4–6 – 32, 6–10 – 18, 10–16 – 14 отн. %. В диоритоидах скв. 1003 наблюдаются еще большие содержания пирита. Вышеуказанные классы содержаний для 30 проб составляют соответственно 17, 20, 53 и 10 отн. %. Содержания Cu примерно в половине проб превышают 0.05 мас. %. В первой скважине они составляют 0.15–0.35 мас. %, а во второй – 0.11–0.21, реже 0.25–0.30 мас. %. Величина Ru/Chr отношения равна 5–22. В скв. 1013 между Ru и Chr не исключено наличие тенденции прямой зависимости (рис. 3а), которая может свидетельствовать о сближенном образовании этих минералов, несмотря на постоянную коррозию пирита халькопиритом. Содержания других рудных элементов по опробованию варьируют (г/т): Mo – < 50, в единичных случаях до 200; Ag – обычно 0.4–0.8, реже до 1.5; Au – < 0.05–0.1, очень редко до 0.2–0.5. По скв. 1013 установлены значимые коэффициенты корреляции ($n = 29$) Ag с Cu ($r = 0.82$, рис. 3), S ($r = 0.54$) и Au ($r = 0.46$), остальные коэффициенты статистически не значимы. По скв. 1003 значимые коэффициенты корреляции наблюдаются между Ag и Cu ($r = 0.38$, $n = 30$), Ag и S ($r = 0.38$, $n = 46$). Первичному ореолу отвечает комплексная геохимическая аномалия зонального строения – Cu, Ag, Mo, W, Cd, As, Sb. Объемный тип ореола, охватывающий весь рудоносный массив, свойственен и ряду

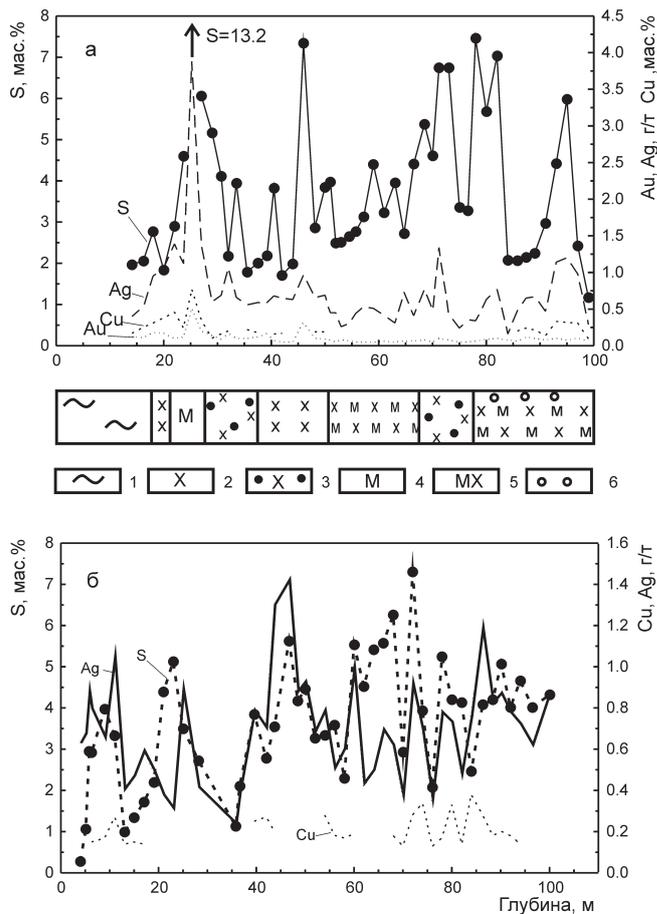


Рис. 1. Распределение в измененных кварцевых диоритах S, Cu, Ag и Au по скв. 1013 (а) и S, Cu и Ag по скв. 1003 (б).

Породы по скв. 1013: 1 – рыхлые отложения и кора выветривания; 2–3 – кварцевые диориты слабо-умеренно (2) и сильно (3) серицитизированные, анкеритизированные; 4 – аноплагригранитный серицит-кварцевый метасоматит; 5 – перемятые метасоматиты и умеренно-сильно измененные диориты; 6 – кварцевые прожилки с молибденитом.

порфировых массивов Южного Урала, которые характеризуются более значительными содержаниями халькопирита.

По данным анализов ICP–MS (табл. 2 в [1]) минимально измененные диориты содержат, по сравнению с кларком в нижней литосфере, и в андезитах повышенное количество Cu (0.04–0.02, до 0.2–0.4 мас. %), Mo, Ag, Te, Se, Hg. Сильно серицитизированные диориты характеризуются, по сравнению со слабо-умеренно серицитизированными, привнесом только (из рудных элементов) Mo и Cd, что также характерно для серицит-кварцевого метасоматита и альбитизированного диорита. Существенный привнос всей группы малых халькофильных элементов (As, Sb, Te, Se, Tl, Ag, Hg, Pb) имеет место только при образовании серицит-кварцевого (существенно кварцевого) метасоматита (табл. 2, ан. 7 в [1]). Вся обширная группа не

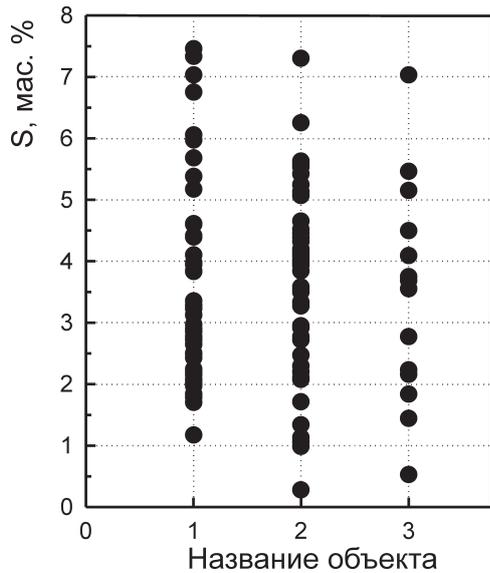


Рис. 2. Содержания серы в измененных диоритоидах по скв. 1013 (1, 51 проба), 1003 (2, 46 проб) Восточно-Артемовского массива и скв. 1 (3, 12 проб) Сухоложского участка.

Таблица 1. Содержания рудных элементов в концентратах из измененных диоритоидов скв. 1013 Восточно-Артемовского массива, г/т

Элементы	27–50	57.8	73	Элементы	27–50	57.8	73
Cu	6975	6156	4221	Sb	2.6	2.7	2.9
Zn	101	68	71	Te	4.4	6.0	4.8
Pb	34	19	14	Se	66	72	40
Mo	30	107	5	Tl	106	109	43
Re	0.044	0.068	0.029	Bi	5.7	7.2	4.8
Pd	0.54	0.72	0.63	Sn	0.42	0.35	0.40
Pt	0.021	0.020	0.017	W	1.41	1.83	1.04
Ru	н/о	н/о	н/о	Ti	668	1245	1366
Rh	0.108	0.091	0.064	V	34	30	31
Ir	н/о	0.003	н/о	Cr	21	15	8.3
Au	0.82	0.67	0.28	Mn	330	128	153
Ag	5.5	5.8	3.9	Co	221	209	235
Cd	0.42	н/о	1.46	Ni	257	189	254
As	17	24	27				

Примечание. Концентраты ($d > 3.3$) представлены преимущественно пиритом (с примесью других сульфидов, а также аксессуарных минералов гранитоидов). Жирным шрифтом выделены повышенные содержания элементов. В первой строчке приведены глубины отбора проб в метрах. Анализы выполнены методом ICP-MS.

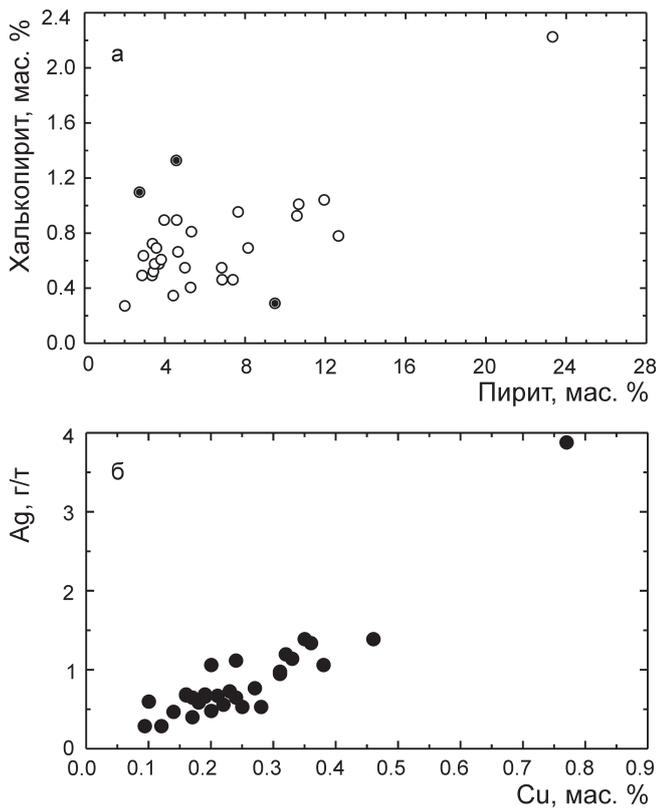


Рис. 3. Корреляционная зависимость в системе пирит-халькопирит (а) и Ag–Cu (б) по скважине 1013 (30 проб).

а: $r = 0.67$ для всей группы проб; $r = 0.84$, если исключить три пробы (закрашенные) в нижней части диаграммы; $r = 0.58$, если кроме них убрать еще верхнюю аномальную пробу. Все приведенные коэффициенты корреляции значимые.

б: $r = 0.82$, $n = 29$.

халькофильных элементов (как совместимых, так и несовместимых) сохраняет немобильность при сильной серицитизации или в основном выносятся при образовании серицит-кварцевого метасоматита. При сильной альбитизации диоритов большая часть элементов (в том числе W, Sb, Ag, Pb) ведут себя немобильно, а меньшая часть выносятся. Надо отметить вынос во всех случаях цинка, содержание которого в слабо-умеренно серицитизированных диоритах составляет всего 41–55 г/т и очень низкое содержание свинца (3–5 г/т) во всех породах, кроме метасоматита. Полученные данные указывают, возможно, на то, что начальный процесс гидротермального минералообразования отвечал объемной серицитизации, сопровождающейся отложением апохлоритового (и не только) пирита при минимальном привносе (или немобильности) халькофильных элементов. Максимум их привноса достигается при увеличении кислотности флюида – образовании существенно кварцевых (с серицитом) метасоматитов и после отложения основной части пирита, ибо халькопирит и блеклые руды постоянно секут зерна пирита. Вышеуказанная положительная корреляция некоторых рудных элементов, по-видимому, свидетельствует об одновременном привносе всей группы халькофильных элементов. Важно отметить, что субвулканические диоритовые порфиры с участками магматических и тектонических брекчий в восточной части массива, несмотря на умеренно-сильную серицитизацию не содержат пирита и халькофильных элементов. Это позволяет предполагать, что они образовались после фор-

мирования флюидно-магматической системы западной части массива. Возможно, они стерильны ввиду очень сильной карбонатизации.

Анализ существенно пиритовых сульфидных концентратов с примесью акцессорных минералов ($d > 3.3$, немагнитная фракция) методом ICP-MS показал (табл. 1) повышенные содержания в них Cu, Zn, Pb, Ag, Sb, а также часто Au, Se, элементов платиноидной группы (при резком преобладании Pd над Pt). Содержания Tl и Te могут быть весьма высокими, как и в рудоносных массивах. Содержания элементов сильно колеблются в отдельных пробах. В концентратах наблюдаются высокие содержания Re (29–44 мг/т) и варьирующиеся – Mo (3–107 г/т). Количество Re в молибденитах по расчетным данным отвечает 0.04–0.35 мас. %. Эти содержания согласуются с микронзондовыми определениями Re в молибдените из кварцевой жилы. Они очень сильно варьируют в пределах зерен, дости-

гая в отдельных участках 0.5 мас. %. Однако в большинстве мелких зерен молибденита содержание рения не превышает фонового значения (200 г/т). Приведенные данные свидетельствуют о перспективности данного объекта и необходимости его детального геохимического картирования (в том числе и на рений).

Авторы признательны Д.В. Киселевой, Ю.Л. Ронкину и В.Г. Крживицкой за помощь в работе.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект 09–05–00289) и ОНЗ-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грабежнев А.И., Ронкин Ю.Л., Коровко А.В. Петрогеохимия диоритоидов Восточно-Артемовского медно-порфинового массива (Средний Урал) // Ежегодник-2009. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 157. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2010. С. 121–124.