

Е. В. ПУЧКОВ, Г. С. БУКУРОВ, Б. Т. ДОЛГОВ

О ФОРМАХ ВХОЖДЕНИЯ МЕДИ В ПОРОДООБРАЗУЮЩИЕ И АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ ГРАНИТОИДОВ

(Представлено академиком В. И. Смирновым 1 X 1973)

Фазовый анализ меди в породообразующих и акцессорных минералах некоторых гранитоидных массивов Казахстана проводился по общепринятым методикам с определением атомарной, сульфидной, окисной и изоморфной меди. Особое внимание уделялось определению атомарной меди, извлечение которой проводилось тремя способами: 1) 1–2% раствором AgNO_3 при 0° ; 2) 15% раствором карбоната аммония; 3) 0,5 N аммиачным раствором $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \cdot \text{NH}_4\text{Cl}$ с добавкой цитрата натрия. Содержания меди в растворах определялись атомно-абсорбционным методом. Чувствительность метода по 3 σ -критерию составляет 0,05 мкг меди в 1 мл раствора, что соответствует 5–10⁻⁵% из расчета на 1 г навески. Расхождение между суммарным содержанием различных форм меди и ее валовым содержанием в пробах не превышало 15%.

Распределение в гранитоидах меди по минералам не противоречит установленным общим закономерностям. Главными носителями являются феррические минералы, однако основная масса меди концентрируется в палеовошпатовой составляющей. Вопреки широко распространенному представлению об изоморфном характере вхождения элементов-примесей в кристаллические решетки чуждых им минералов, фактическое содержание изоморфной меди в исследуемых пробах выражалось крайне низкими величинами и только в одной пробе приближалось к 20%.

Химическая природа соединений меди не имеет решающего значения для вхождения меди в породообразующие и акцессорные минералы. Содержание окисных форм меди в минералах пород нижнепалеозойского, верхнедевонского и среднекаменноугольного интрузивных комплексов составляет 35–50%. Для минералов пород верхнекаменноугольного комплекса их доля несколько меньше, в среднем 28%. Количество сульфидной меди для гранитоидов первых трех комплексов составляет около 48%. Несколько больше сульфидной меди в гранитоидах верхнекаменноугольного возраста, 57%. В породах нижнепалеозойского комплекса атомарная медь присутствует в количествах, или не определяемых методами анализа (мспее 0,0001%), или не превышающих тысячных долей процента. Для гранитоидов верхнедевонского комплекса, исследованных в основном в Северном Прибалхашье, несмотря на значительные валовые содержания меди в минералах, доля рассеянной атомарной меди незначительна. Формы вхождения в породообразующие минералы гранитоидов среднекаменноугольного возраста исследовались на примере Катайского, Сортуского, Джунтубского и Токрауского массивов. Для первых трех атомарная форма меди не характерна вообще или присутствует в крайне ничтожных количествах. Несколько особняком стоит гранодиоритовый массив, примыкающий к медному месторождению Коунрад (содержание атомарной меди в роговой обманке составляет 0,0055–0,0065% или 12–15% от общего содержания меди в минерале). Повышенные содержания этой меди в минералах наблюдаются в гранитах, гранит- и гранодиорит-порфирах верхнекаменноугольного возраста (10–20% от общего содержания).

Формы нахождения меди в породообразующих и аксессуарных минералах гранитоидов Казахстана (содержание, %)

№ пробы	Массив	Возраст	Порода	Минерал	С _{ат}	С _{окисн}	С _{сульф}	С _{изом}	Сумма	С _{вал}
23	Чатыркуль	O ₃ -S ₁	Гранит	Биотит	Не обн.	0,0012	0,0034		0,0047	
21	»		»	»	»	0,0014	0,0037	0,0001	0,0052	0,0043
9	»		»	Калишпат	0,0001	0,0040	0,0031	0,0032	0,0074	0,0095
39	Коктаджал	O ₃ -S ₁	Гранодиорит	Роговая обм.	0,0001	0,0029	0,0038	0,0001	0,0069	0,0063
1289/7	Крыккудек	O ₃ -S ₁	»	Магнетит	Не обн.	0,0030	0,0035		0,0066	
1289/13	»		»	»	0,0029	0,0034	0,0004	0,0001	0,0064	0,0062
1289/14	»		»	Магнетит	0,0004	0,0020	0,0014	Не опр.	0,0038	0,0039
1289/17	»		»	Роговая обм.	0,0003	0,0021	0,0010	»	0,0034	0,0039
1290/18	»		»	»	0,0005	0,0060	0,0013	»	0,0078	0,0069
1290/19	»		»	Сфен	0,0005	0,0056	0,0019	»	0,0080	0,0067
28	Каратаг	D ₃	»	Биотит	0,0002	0,0021	0,0010	»	0,0033	0,0035
10	»		Гранит	Полевой шпат	Не обн.	0,0043	0,0061	»	0,0104	0,009
26	Шокша		Гранодиорит	Кварц	0,0012	0,0031	0,0014	»	0,0054	0,0052
40	»		»	Роговая обм.	0,0004	0,0035	0,0014	»	0,0053	0,0035
13	Кенькудук	D	Гранит	Калишпат	Не обн.	0,0011	0,0050	0,0001	0,0062	0,0059
14	»		»	Калишпат	0,0007	0,0060	0,0171	0,005	0,0238	0,0234
41	Катай	C ₂	»	Биотит	0,0002	0,0031			0,0045	0,0042
42	»		»	Роговая обм.	0,0002	0,0031	0,0001	0,0001	0,0046	0,0042
1389/23	»		»	»	Не обн.	0,0033	0,0037		0,0071	
1389/24	»		»	Калишпат	»	0,0035	0,0038	0,0001	0,0074	0,0062
1389/26	»		»	»	0,0001	0,0017	0,0044	0,0001	0,0062	0,0054
1389/27	»		»	»	0,0004	0,0014	0,0032		0,0049	
1389/28	»		»	Роговая обм.	0,0004	0,0011	0,0034	0,0002	0,0048	0,0046
1389/29	»		»	»	0,0002	0,0092	0,0062	Не опр.	0,0156	
33	Сортуз		»	Калишпат	0,0001	0,010	0,0062		0,0163	0,0160
38	Токрау		»	»	Не обн.	0,0034	0,0014		0,0049	
45	Джуантыбе		»	Магнетит	0,0031	0,0014	0,0014	0,001	0,0046	0,0047
47	Коунрад	C ₂	Гранит-порфир	Апатит	»	0,007	0,011	Не обн.	0,018	0,0220
11	Каскырказган		»	»	»	0,0019	Не обн.	»	0,0019	0,0020
5	»		»	Калишпат	0,0001	0,0006	0,0017	»	0,0024	0,0022
4	»		»	Кварц	0,0002	0,0006	0,0007	»	0,0015	0,0014
	»		»	Сфен	Не обн.	0,0083	0,011	»	0,0094	0,0225
	»		»	Плагиоклаз	0,0001	0,0007	0,0019	»	0,0027	0,0025
	»		Гранодиорит	Биотит	Не обн.	0,0025	0,0036	0,0001	0,0062	0,0062
	»		»	Роговая обм.	0,0055	0,0084	0,0272	Не опр.	0,0411	
	»		»	»	0,0065	0,0094	0,0240		0,0399	0,0510
	»		»	«	Не обн.	0,0062	0,0027		0,0090	
	»		»	«	»	0,0063	0,0028	0,0001	0,0092	0,0081
	»		»	Биотит	0,0018	0,0020	0,0111	Не опр.	0,0149	0,0154
	»		»	Калишпат	0,0008	0,010	0,0140	0,0020	0,0270	0,0246
	»		»	Плагиоклаз	0,0032	0,0171	0,0161	0,0050	0,0414	0,0359
	»		»	»	0,0010	0,0030	0,0045		0,0105	
	»		»	»	0,0010	0,0033	0,0050	0,0030	0,0123	0,0095

Несмотря на, казалось бы, незначительный процент изоморфной и атомарной меди, наибольший интерес для познания геохимической и металлогенической специализации интрузивных комплексов имеет медь, находящаяся в рассеянном состоянии. Термодинамическими расчетами доказыва-ется (1), что: 1) рассеянные элементы представляют собой твердые раство-ры с весьма ограниченной растворимостью в литофильных минералах; 2) твердые растворы рассеянных элементов, будучи чрезвычайно разбав-ленными растворами, в целом подчиняются законам «идеальных растворов или газов»; 3) в общем случае между молярной долей рассеянного элемен-та (N) и абсолютной температурой (T) существует зависимость, выражаю-щаяся уравнением

$$T = \sqrt{\frac{L_{пл} T_{пл}}{R \ln + L_{пл}/T_{пл}}}$$

где $L_{пл}$ и $T_{пл}$ — теплота и температура плавления (модификация уравне-ния Шредера).

Пересыщение петрогенных минералов рассеянными элементами проис-ходит в температурном интервале, соответствующем реальному темпера-турному полю гидротермального минералообразования. Избыточными про-тив насыщающей концентрации становится 99% валовых содержаний рассеянных элементов всего лишь при охлаждении породы на 30–70° С ниже температурного насыщения. Это количество рассеянных элементов потенциально может экстрагироваться и выноситься за пределы кристалли-ческих решеток минералов и формировать рудоносные растворы. Выделе-ние элементов происходит в узком температурном интервале, что обуслов-ливает и пространственную дискретность рудогенеза. В первом приближе-нии факторами, способствующими пространственному и временному раз-общению различных элементов при рудообразовании (металлогеническая специализация интрузивных комплексов), являются концентрации элемен-та, а также температура и теплота плавления минерала, в состав которого входит рассеянный элемент.

Когда избыточное против насыщающей концентрации количество рассе-янного элемента не экстрагируется за пределы кристаллических решеток силикатных минералов, все равно имеет место автолизия, в результате чего для случая глубинных пород основными формами вхождения будет запол-нение вакансий и дефектов окисными и сульфидными соединениями. Для случая быстрого охлаждения (гипабиссальные условия), наряду с этими формами, примеси в атомарном состоянии будут сегрегироваться на гранях разделов в дислокациях и в структурных каналах породообразующих ми-нералов (см. табл. 1). Естественно, что часть рассеянного элемента продол-жает оставаться в кристаллической решетке силикатных минералов в виде твердого раствора и без разрушения последней не поддается выщелачива-нию (так называемая изоморфная форма). По предварительным данным, концентрации рассеянных элементов (в данном случае меди) в не выщелачи-ваемой без разрушения кристаллических решеток форме являются кларк-овыми содержаниями.

Казахский научно-исследовательский институт
минерального сырья
Центрально-Казахстанское
геологическое управление
Алма-Ата

Поступило
26 IX 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Г. С. Букуров, Е. В. Пучков, Сборн. Геология медно-порфировых месторождений Казахстана и Средней Азии, Алма-Ата, 1972.