

ПЕТРОЛОГИЯ

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РУДОНОСНЫХ И ПОСТРУДНЫХ ГАББРОИДОВ БАРОНСКОГО ЗОЛОТО-ПАЛЛАДИЕВОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ (ВОЛКОВСКИЙ МАССИВ)

Е.В. Аникина, Е.В. Пушкарев, А.В. Алексеев, С.Я. Берсенева

При изучении Баронского золото-палладиевого рудопроявления было установлено наличие двух типов габброидов [Аникина и др., 2005; Маегов, 2005], имеющих различные взаимоотношения с оруденением. Первый можно условно назвать рудовмещающим, а второй – пострудным. Рудовмещающее оливиновое габбро, слагающее большую часть разреза, переслаивается с оливинитами, верлитами, клинопироксенитами и плагиоклазитами. С этими породами габбро имеет постепенные переходы, характеризуется широкими структурно-текстурными вариациями, развитием пегматитов и полосчатых такситов. Все перечисленные породы в разной степени обогащены благородными металлами. Пострудное габбро практически не затронуто вторичными изменениями, образует жильные тела, секущие рудовмещающие породы. Оно обладает мелко-, среднезернистой, нередко порфировидной структурой и массивной, однородной текстурой. Уровень содержания благородных металлов в этих породах близок к фоновым значениям. Следовательно, можно утверждать, что формирование благороднометалльного оруденения связано со становлением сложного разреза оливиновых габброидов, клинопироксенитов и оливинитов, а не является поздним, наложенным на все типы пород, развитых в юго-западном блоке Волковского габбрового массива. Пострудные жильные габбро определяют верхний возрастной предел развития оруденения.

Основные характеристики геологического строения Баронского рудопроявления, минерального состава пород и руд приведены в ранее опубликованных работах [Золотов и др., 2001; Аникина и др., 2004]. В данной статье мы впервые приводим подробную петро- и геохимическую характеристику рудовмещающих и пост-

рудных габброидов, выделенных на площади рудного поля в процессе проведения геологоразведочных работ и тематических исследований.

По химическому, модальному и нормативному составу выделенные типы габброидов существенно различаются, хотя и содержат примерно одинаковый набор минералов. В первом приближении рудовмещающие породы можно классифицировать как оливиновые габбро с довольно выдержанным суммарным количеством нормативных оливина и клинопироксена около 40 %. Ортопироксен либо отсутствует в норме, либо его доля не превышает первых процентов. Пострудные жильные габброиды соответствуют габбро-норитам или габбро с незначительной примесью оливина. Эти породы содержат основной плагиоклаз An_{60-70} , в то время как оливиновые габброиды характеризуются битовнит-анортитовым составом плагиоклаза. Железистость пострудных габбро и габбро-норитов ($f = 0,47-0,52$) также существенно выше, чем у рудоносных оливиновых габбро ($f = 0,33-0,39$). Специфика минерального состава последних определяется высокими содержаниями магнетита и апатита, что отражается в относительно низком уровне SiO_2 (< 40 мас. %) и экстремально высоком содержании $P_2O_5 > 2$ мас. % (табл. 1). В лабдоритовых габбро и габбро-норитах содержание кремнезема не опускается ниже 45 мас. %, а содержание P_2O_5 не превышает 1 мас. %.

Различия в минеральном и химическом составе двух выделенных типов габбро отражаются и в особенностях их геохимии. Основным концентратом РЗЭ и стронция в породах Баронского рудопроявления является апатит. Он содержит 2500-3500 г/т Sr, что примерно на порядок выше концентрации этого элемента в породообразующем клинопироксене (табл. 1).

Таблица 1

Содержание главных элементов (вес. %) и элементов-примесей (г/г) в породах и минералах

	К1 6/25	В 37/54	В 30/73	К1 6/46	В 34/70	В 11/66	В 26/33	В 24/17	В 37/22	К1 5/16	К1 6/25	К1 16/92	ПЕ 323	ПЕ 321	ПЕ 325
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SiO ₂	36,42	34,12	37,54	40,34	43,56	44,95	38,05	35,85	46,87	48,30	Н.о.	Н.о.	50,67	43,27	42,96
TiO ₂	0,98	0,80	0,79	0,70	1,16	0,57	0,85	0,23	0,77	0,88	Н.о.	Н.о.	0,42	0,12	0,35
Al ₂ O ₃	13,81	13,49	13,79	5,56	6,87	3,62	5,32	2,50	12,03	18,73	Н.о.	Н.о.	3,22	1,14	25,02
FeOtot.	12,68	14,38	10,60	9,16	10,18	10,12	11,80	12,26	12,13	10,49	Н.о.	Н.о.	7,70	7,21	7,01
MnO	0,15	0,16	0,12	0,16	0,12	0,15	0,14	0,18	0,19	0,20	Н.о.	Н.о.	0,16	0,18	0,10
MgO	9,69	11,88	10,60	16,82	12,44	16,97	18,94	27,81	7,93	4,59	Н.о.	Н.о.	14,92	37,00	5,92
CaO	16,55	15,20	16,46	18,99	20,57	20,01	17,26	16,92	12,20	11,02	Н.о.	Н.о.	19,58	6,85	16,04
Na ₂ O	0,70	Н.о.	Н.о.	0,40	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	3,20	Н.о.	Н.о.	0,40	0,22	0,61
K ₂ O	0,21	0,10	0,10	0,09	0,00	0,00	0,02	0,03	0,18	0,12	Н.о.	Н.о.	0,00	0,00	0,01
P ₂ O ₅	2,40	2,47	2,20	4,04	1,07	3,35	2,96	4,03	0,44	0,28	Н.о.	0,02	0,01	0,01	0,01
B	15,132	21,730	15,707	83,780	11,228	36,832	12,398	53,424	7,480	9,684	19,524	10,767	2,390	66,500	9,452
Li	1,682	3,654	1,861	2,945	1,181	3,440	1,618	1,464	1,484	0,876	0,264	2,094	3,9872	1,3038	1,237
Rb	3,788	1,656	1,512	1,753	0,327	0,297	0,815	1,149	1,967	1,062	0,166	2,445	0,2646	0,1717	0,294
Cs	0,153	0,115	0,056	0,235	0,031	0,023	0,078	0,039	0,052	0,078	0,017	0,054	0,0156	0,0091	0,012
Be	0,090	0,064	0,133	0,115	0,090	0,097	0,097	0,082	0,686	0,360	0,018	0,218	0,0961	0,0311	0,066
Sr	2536,877	1801,382	2583,105	841,987	648,417	554,331	955,916	1176,074	1013,974	785,942	2684,166	283,586	50,8529	18,4584	663,475
Ba	139,204	65,209	67,292	64,574	13,924	26,845	32,370	34,981	98,550	123,927	5,945	23,399	7,7799	3,4041	40,601
Sc	33,480	19,619	34,473	66,911	116,724	59,587	58,381	23,802	43,167	29,538	1,054	137,923	117,6628	42,2117	33,559
Ga	14,755	18,020	15,872	10,681	15,641	14,581	11,907	3,662	14,714	16,421	6,695	13,621	6,1702	2,2494	17,463
Ge	Н.о.	0,105	0,102	0,388	0,087	0,062	0,163	0,254	0,104	Н.о.	1,332	0,081	0,1440	0,1700	0,084
V	980,305	675,573	473,708	422,035	696,168	317,033	540,675	203,294	340,928	490,031	185,514	524,237	357,7451	86,1575	339,272
Y	12,360	9,317	10,139	21,905	16,811	20,920	17,692	29,089	17,961	11,246	117,272	18,478	11,8772	3,6843	3,907
La	9,814	6,846	6,447	17,125	4,758	14,037	11,418	24,822	12,041	4,171	164,847	3,682	0,8846	0,2645	0,915
Ce	28,168	19,418	18,232	47,353	13,126	33,416	33,050	70,217	27,860	10,099	364,063	13,206	3,9437	1,2296	2,161
Pr	4,563	3,324	3,100	7,612	3,222	6,911	5,598	11,542	3,819	1,557	64,387	3,137	0,7181	0,2322	0,344
Nd	23,291	19,146	17,726	38,423	19,974	40,072	31,679	65,522	17,902	7,269	286,303	20,526	4,0049	1,2605	1,756
Sm	6,503	5,000	4,834	10,843	6,382	10,603	8,530	16,098	4,344	2,142	62,441	7,247	1,4339	0,4343	0,566
Eu	1,768	1,462	1,471	2,859	1,933	2,891	2,414	4,242	1,509	0,947	14,531	2,179	0,5175	0,1544	0,293
Gd	5,739	4,285	4,298	9,428	5,941	9,311	7,522	13,905	3,974	2,109	54,046	6,550	1,8328	0,5627	0,617
Tb	0,685	0,499	0,520	1,133	0,791	1,091	0,908	1,544	0,588	0,332	5,574	0,907	0,3188	0,1001	0,106
Dy	3,321	2,211	2,338	4,941	3,726	4,831	4,129	6,755	3,264	2,100	23,499	4,484	2,0012	0,6294	0,662

Таблица 1 (продолжение)

Ho	0,559	0,380	0,413	0,874	0,669	0,804	0,713	1,141	0,670	0,460	3,936	0,784	0,4198	0,1317	0,139
Er	1,207	0,775	0,859	1,784	1,373	1,689	1,460	2,342	1,647	1,241	8,256	1,688	1,0892	0,3523	0,387
Tm	0,142	0,084	0,098	0,192	0,153	0,180	0,162	0,240	0,222	0,175	0,776	0,199	0,1585	0,0494	0,054
Yb	0,711	0,427	0,513	1,044	0,847	0,951	0,848	1,239	1,401	1,080	4,164	1,127	0,9912	0,2821	0,336
Lu	0,091	0,055	0,066	0,135	0,111	0,124	0,106	0,156	0,204	0,157	0,557	0,154	0,1466	0,0398	0,049
Zr	7,142	3,821	6,026	9,036	11,835	7,219	9,110	4,213	19,238	8,268	0,711	21,967	10,8590	3,4240	5,594
Hf	0,450	0,262	0,392	0,602	0,943	0,565	0,625	0,234	0,766	0,395	0,155	1,433	0,5644	0,1379	0,246
Nb	0,311	0,373	1,003	0,277	0,187	0,110	0,468	0,132	1,095	0,580	0,038	0,803	0,1129	0,1365	0,524
Ta	0,581	0,260	0,156	0,047	0,038	0,018	0,092	0,050	0,164	0,778	0,043	0,294	0,0298	0,0159	0,065
Cr	138,926	3,630	11,573	237,048	16,192	12,052	3,825	0,889	234,320	161,006	5,922	572,091	3113,38	2622,42	256,337
Co	59,936	64,001	48,220	78,434	58,197	97,925	74,227	129,917	50,405	29,407	3,327	54,948	47,9864	96,8324	38,807
Ni	58,090	22,892	37,664	75,744	48,781	84,931	55,533	108,794	92,227	30,988	10,781	43,504	215,498	788,50	75,460
Cu	1128,978	1641,951	97,267	111,509	60,054	205,928	107,883	164,500	79,310	97,910	210,258	116,350	8,6902	8,1564	27,451
Zn	61,407	52,304	38,518	53,635	56,122	56,260	39,712	39,759	49,186	67,254	26,533	69,555	38,3125	53,6470	40,407
Cd	0,098	0,042	0,042	0,052	0,055	0,036	0,038	0,039	0,061	0,118	0,018	0,173	0,0860	0,0300	0,040
In	0,060	0,046	0,056	0,090	0,092	0,056	0,078	0,035	0,049	0,050	0,020	0,135	0,2120	0,0780	0,119
Pd	0,045	1,426	0,016	0,743	0,040	0,167	0,243	5,532	0,011	0,010	H.o.	H.o.	H.o.	H.o.	H.o.
Pt	0,006	0,026	0,007	0,033	0,000	0,000	0,043	0,244	0,002	0,000	H.o.	H.o.	H.o.	H.o.	H.o.
Au	0,110	0,180	0,017	0,063	0,004	0,086	0,064	0,371	0,013	0,009	H.o.	H.o.	H.o.	H.o.	H.o.
As	H.o.	0,877	0,491	2,184	0,302	1,889	0,547	2,332	0,438	H.o.	2,234	H.o.	0,1400	0,9720	0,433
Se	H.o.	1,841	0,041	0,438	0,081	H.o.	0,054	0,398	0,130	H.o.	2,764	H.o.	0,4800	0,8240	0,657
Bi	0,019	0,023	0,010	0,021	0,011	0,012	0,009	0,018	0,017	0,020	0,019	0,035	0,0121	0,0165	0,012

Примечание. Силикатный анализ пород выполнен Н.П. Горбуновой и Г.М. Ятлук.; анализ редких элементов выполнен с помощью кислотного разложения проб (О.П. Лепихина, О.В. Попова) и последующего анализа с помощью тандемного масс-спектрометра высокого разрешения с ионизацией в индуктивно-связанной плазме HR/ICP-MS Element2; анализ Pd, Pt, Au выполнен методом ICP-MS в лаборатории корпорации ALS Chemex (г. Ванкувер, Канада).

Баронское золото-палладиевое рудопроявление: 1-3 – оливиновое габбро; 4-6 – оливиновое клинопироксенит; 7, 8 – апатитовый оливинит; 9 – жильное лабрадорное габбро; 10 – жильный габбро-норит; 11 – апатит; 12 – клинопироксен. Гора Сухогорский Камень: 13 – клинопироксенит; 14 – верлит; 15 – оливиновое габбро.

Однако с учетом многократного преобладания в количественном отношении клинопироксена над апатитом можно утверждать, что вклад этих двух минералов в геохимию Sr сопоставим. Влияние апатита на геохимию РЗЭ в породах должно быть существенно более высоким по сравнению с влиянием клинопироксена, поскольку суммарное содержание РЗЭ в апатите (900-1000 г/т) примерно в 50 и более раз превышает концентрацию этих элементов в клинопироксене.

Концентрации фосфора в рудовмещающих оливиновых габбро и ассоциированных с ними клинопироксенитах и оливинитах варьируют в интервале 1,5-6 % P_2O_5 . Среднее содержание фосфора в каждой группе пород оказывается близким, что отражает отсутствие зависимости его концентраций от состава породы, хотя максимальные содержания апатита (до 15 %) все же отмечаются в оливинитах. (рис. 1). Высокие концентрации апатита в породах определяют их аномальную обогащенность стронцием и редкоземельными элементами (рис. 1). Максимальные концентрации Sr (до 3000 г/т) зафиксированы в оливиновых габбро. В клинопироксенитах и оливинитах количество стронция варьирует от 170 до 850 г/т. Из диаграммы P_2O_5 – сумма РЗЭ следует, что содержания этих компонентов в породах разреза связаны прямой корреляционной зависимостью (рис. 1б). Сумма РЗЭ составляет в оливиновых габбро и

клинопироксенитах – 70-150 г/т, в оливинитах – 100-200 г/т. Незначительное смещение точек состава пород на диаграмме вправо от линии оливин-апатитового контроля демонстрирует роль клинопироксена и плагиоклаза как дополнительных концентраторов РЗЭ в породах. Рудовмещающие оливиновые габбро, клинопироксениты и оливиниты характеризуются однотипным распределением РЗЭ, выражающемся в резком преобладании легких лантаноидов над тяжелыми ($La/Yb = 5-11$). В целом, спектр распределения РЗЭ в перечисленных породах морфологически повторяет линию распределения этих элементов в апатите (рис. 2). Клинпироксен из клинопироксенитов Баронского рудопроявления имеет более высокие концентрации РЗЭ по сравнению с клинопироксеном из других пород Платиноносного пояса Урала (ППУ), что может свидетельствовать в пользу первичной обогащенности редкоземельными элементами как мантийного источника, так и родоначального расплава. В данном случае мы исключаем влияние апатита, поскольку в изученном образце содержание фосфора составляет всего 181 г/т.

Другой интересной особенностью рудовмещающих пород Баронского рудопроявления является необычная геохимия хрома. Содержание этого элемента в оливиновых габбро близко к установленному в разных типах габброидов ППУ [Ферштатер и др., 1999; Шмелев,

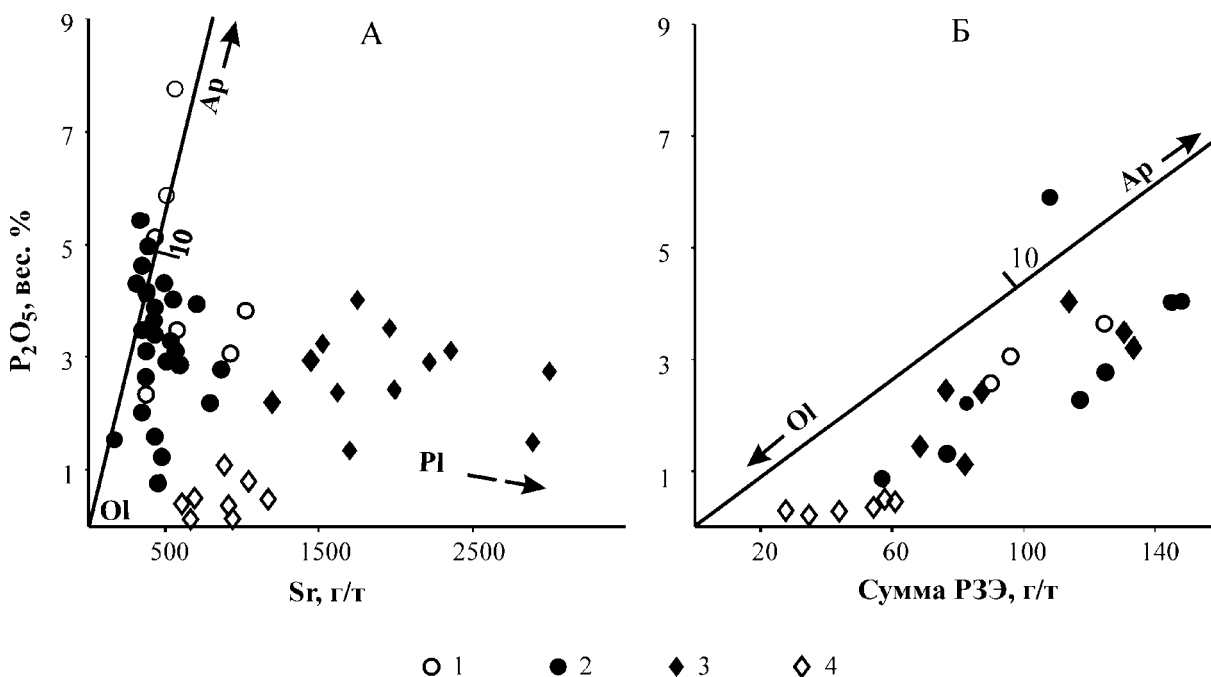


Рис. 1. Концентрации фосфора, стронция и РЗЭ в породах Баронского рудопроявления.

1 – апатитовые оливиниты; 2 – клинопироксениты; 3 – оливиновые габбро; 4 – габбро-нориты.

2005]. Однако при переходе к клинопироксенитам содержания хрома остаются на «габбровом» уровне, а по направлению к оливинитам даже уменьшаются и не превышают первых десятков грамм или даже первых грамм на тонну (рис. 3). Эта тенденция противоположна закономерностям, установленным для последовательности оливинит-клинопироксенит-оливиновое габбро в Платиноносном поясе Урала, например, в Сухогорском массиве (рис. 3). В последнем концентрации хрома последовательно снижаются от 2500-3000 г/т в верлитах, до 1500 г/т в клинопироксенитах и до 200-300 г/т в оливиновых габбро (табл. 1).

Оливиновые габбро и ассоциированные с ними клинопироксениты и оливиниты характеризуются крайне неравномерным распределением меди (рис. 3), концентрации которой меняются в широких пределах от среднего «габбрового» уровня (100-150 г/т) в сторону резкого увеличения до значений 1000-2000 г/т и выше. Широкие вариации концентраций меди могут косвенно указывать на проявление рудного процесса.

Пострудные лабрадоритовые габбро и габбро-нориты, образующие в пределах рудовмещающего разреза секущие жильные тела, ха-

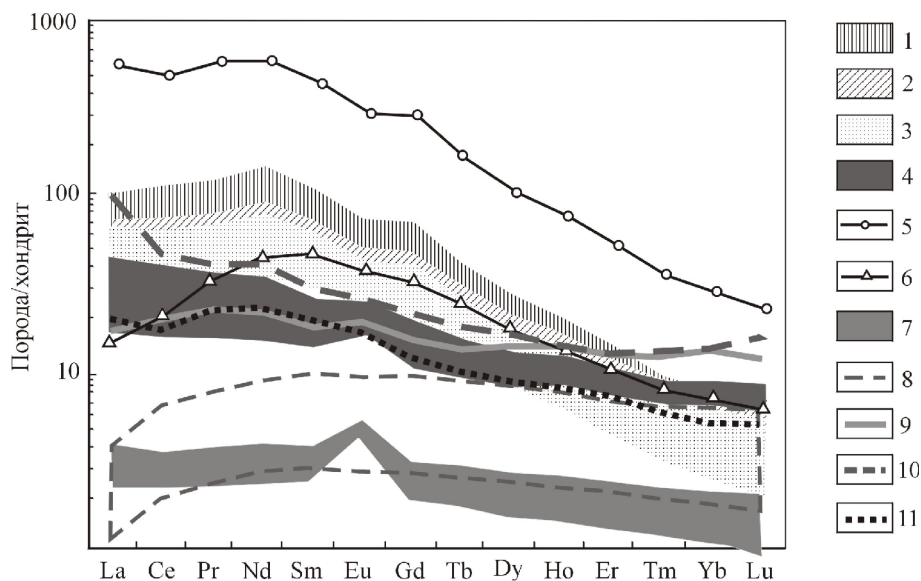


Рис. 2. Распределение РЗЭ в породах и минералах Баронского рудопоявления и в массивах Платиноносного пояса Урала.

Баронское рудопоявление: 1 – апатитовые оливиниты; 2 – клинопироксениты; 3 – оливиновые габбро; 4 – габбро-нориты; 5 – апатит; 6 – клинопироксен.

Платиноносный пояс Урала: 7 – оливиновые габбро (гора Сухогорский Камень, Кытлымский массив); 8 – клинопироксениты и верлиты (гора Сухогорский Камень, Кытлымский массив); 9 – амфиболовые габбро (гора Белая, Нижнетагильский массив); 10 – габбро-нориты (гора Кумба); 11 – амфиболовые габбро (гора Серебрянский Камень, Кытлымский массив); 9-11 – по [Ферштатер и др., 1999].

рактизуются более низкими концентрациями стронция (560-1180 г/т) и суммы РЗЭ (30-60 г/т), что коррелируется с более низкими концентрациями апатита в этих породах и,

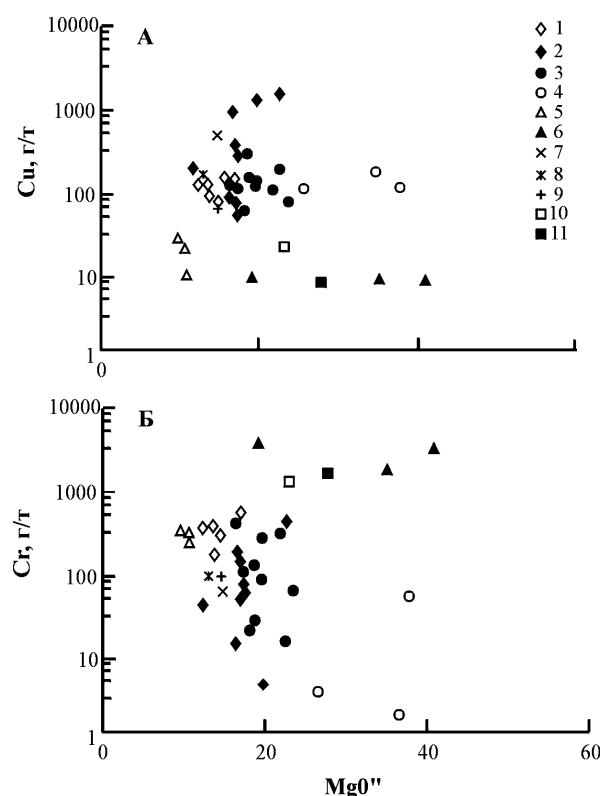
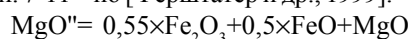


Рис. 3. Вариации хрома и меди в породах Баронского рудопоявления и других массивов ППУ.

Баронское рудопоявление: 1 – габбро-нориты; 2 – оливиновые габбро; 3 – клинопироксениты; 4 – оливиниты.

Сухогорский массив: 5 – оливиновые габбро; 6 – оливиновые клинопироксениты.

7 – амфиболовые габбро Серебрянского массива; 8 – габбро-нориты Кумбы; 9 – амфиболовые габбро горы Белой; 10 – клинопироксениты Серебрянского массива; 11 – клинопироксениты горы Соловьевой. 7-11 – по [Ферштатер и др., 1999].



соответственно, содержаниями P_2O_5 , не превышающими 0,4-0,8 мас. % (рис. 1). Спектр распределения РЗЭ в этих породах по сравнению с другими породами разреза характеризуется меньшей степенью фракционирования ($La_n/Yb_n = 3-4$) и наличием отчетливой положительной аномалии Eu (рис. 2). В целом, распределение РЗЭ в пострудных габбро и габбро-норитах Баронского рудопоя хорошо сопоставимо с характером распределения этих элементов в «типичных» габбро-норитах ППУ [Ефимов, Потапова, 2002; Ферштатер и др., 1999; Шмелев, 2005]. В отличие от рудовмещающих оливиновых габбро, уровень содержания хрома в них варьирует крайне незначительно, характерна также весьма устойчивая концентрация меди (80-150 г/т), сопоставимая с другими безрудными габброидами ППУ и свидетельствующая об отсутствии проявления рудного процесса.

Таким образом, в пределах Баронского рудопоя можно выделить два типа габброидов: рудовмещающие оливиновые габбро и пострудные габбро и габбро-нориты. Они различаются между собой по текстурно-структурным особенностям, минеральному составу, петрохимии и геохимии Sr, редких и редкоземельных элементов. Породы, вмещающие золото-палладиевое оруденение – оливиновые габбро, клинопироксениты и оливиниты, имеют более высокие по сравнению со сходными породами ППУ концентрации фосфора, стронция и редкоземельных элементов. Спектр распределения РЗЭ в рудовмещающих породах Баронского рудопоя имеет более крутой отрицательный наклон по сравнению с сопоставимыми по уровню концентраций пострудными габбро и габбро-норитами, а также с амфиболовыми габбро ППУ (рис. 2). Жильные лабрадориты габбро и габбро-нориты Баронского рудопоя, судя по их секущим взаимоотношениям с рудовмещающими породами и по отсутствию в них признаков золото-палладиевого оруденения, являются пострудными образованиями. По типу распределения

и уровню концентраций РЗЭ эти породы близки к «типичным» габбро-норитам ППУ.

Несмотря на установленные различия в петрохимии и геохимии рудовмещающих оливиновых габбро и пострудных габбро и габбро-норитов, они имеют ряд общих геохимических черт, позволяющих предполагать единый источник магмогенерации и, скорее всего, достаточно узкие временные рамки кристаллизации обоих типов пород.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты 04-05-96009-р2004урал_a и 06-05-64795-а.

Список литературы

- Аникина Е.В., Пушкарев Е.В., Русин И.А., Берсенева С.Я. Состав клинопироксена в породах мафит-ультрамафитового разреза Южного блока Волковской интрузии // Ежегодник-2004. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 2005. С. 237-244.
- Аникина Е.В., Русин И.А., Кнауф В.В., и др. Новые данные о составе золото-палладиевого оруденения в ультрамафит-мафитовом разрезе южного блока Волковской интрузии на Среднем Урале // Докл. РАН. 2004. Т. 396. № 3. С. 377-382.
- Ефимов А.А., Потапова Т.А. О поведении редкоземельных и других следовых элементов при метаморфизме габбро-норитов Платиноносного пояса Урала // Ежегодник-2001. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 2002. С. 228-232.
- Золотов К.К., Волченко Ю.А., Коротеев В.А. и др. Платинометальное оруденение в геологических комплексах Урала. Екатеринбург, 2001. 199 с.
- Маглов В.И. К вопросу о природе «тылаитов» Тагил-Баранчинского плутона (Платиноносный пояс Урала) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского: Сборник научных статей. Пермь: Пермский гос. университет, 2005. Вып. 7. С. 268-273.
- Ферштатер Г.Б., Беа Ф., Пушкарев Е.В., и др. Новые данные по геохимии Платиноносного пояса Урала: вклад в понимание петрогенезиса // Геохимия. 1999. № 4. С. 352-370.
- Шмелев В.Р. Магматические комплексы зоны Главного Уральского разлома (Приполярный сектор) в свете новых геохимических данных // Литосфера. 2005. № 2. С. 41-59.