

УДК 552.321.6+550.4

Д.Е. Савельев<sup>1</sup>, В.Н. Пучков<sup>2</sup>, Е.А. Бажин<sup>3</sup>, В.И. Сначев<sup>4</sup>, М.А. Романовская<sup>5</sup>

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О ГЕОЛОГИИ И ГЕОХИМИИ ТАЛОВСКОГО ГАББРО-ГИПЕРБАЗИТОВОГО МАССИВА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Проведен анализ внутреннего строения и особенностей геохимического состава ультрабазитов и габброидов Таловского массива. По содержанию редкоземельных элементов выделяются два типа габброидов: обедненные и обогащенные легкими РЗЭ. Акцессорные хромшпинелиды ультрабазитов обогащены трехвалентным железом и обеднены алюминием, что сближает рассматриваемый комплекс с платиноносными массивами. Присутствие в едином разрезе реститов дунит-гарцбургитовой ассоциации и многочисленных инъекций верлит-клинопироксенит-габбрового состава объясняется надсубдукционной обстановкой формирования комплекса.

*Ключевые слова:* ультрабазиты, габброиды, платиноносные массивы, дунит-гарцбургитовая ассоциация, Таловский массив, Южный Урал.

In this article the analysis of an internal structure and features of geochemical features of ultramafites and gabbro rocks of the Talovsky massif is carried out. On the basis of quantity rare-earth elements among gabbroids two types rocks are defined: impoverished and enriched by light REE. Cr-spinellide accessories of ultramafic rocks are enriched by trivalent iron and are grown poor by aluminium that pulls together a considered complex with Pt-carrying massifs. Presence at the same section restites of the both dunite-gartsburgite association and numerous verlite-klinopyroxenite-gabbro injections speaks about forming of the complex in an under-subduction zone.

*Key words:* ultramafites, gabbroids, Pt-carrying massifs, dunite-gartsburgite association, Talovski massif, Southern Urals.

**Введение.** Классический пример района, где развиты концентрически зональные ультрабазит-габбровые платиноносные комплексы, — Средний и Северный Урал, где эти комплексы образуют пояс протяженностью около 1000 км. Массивы обычно окружены осадочно-вулканогенными толщами островодужного типа. Их образование связывают с надсубдукционной геодинамической обстановкой [Иванов и др., 2006]. Платиноносный пояс прерывается на широте Екатеринбурга, в пределах Южного Урала широко развиты лишь офиолитовые ультрабазиты. Таловский габбро-гипербазитовый массив, расположенный на границе Среднего и Южного Урала, обладает одновременно чертами офиолитов и платиноносных комплексов [Варлаков, 1986]. Полученные в последние годы геологические и геохимические данные позволяют по-новому интерпретировать геодинамическую обстановку его формирования.

**Геологическое строение.** Таловский массив приурочен к узкой зеленокаменной полосе Тагило-Магнитогорской мегазоны, на западе граничащей с допалеозойскими образованиями Центрально-Уральского поднятия, а на востоке — с Вишневогорско-Ильменогорским метаморфическим комплексом. Массив протягивается в меридиональном направлении на 25 км, ширина его достигает 7 км (рис. 1).

Изучению ультрабазитов рассматриваемой площади посвящены работы В.В. Бабкина, А.Н. Черноостровца, В.И. Петрова, Р.П. Тихоненковой, Т.И. Фроловой, Г.Б. Рудника, А.Н. Левченко, С.А. Зорина, И.В. Жилина, К.К. Золоева, А.С. Варлакова, Р.О. Берзона, Г.Г. Кораблева, А.Н. Грицука и многих других.

В строении массива участвуют три главные ассоциации: дунит-гарцбургитовая, верлит-клинопироксенитовая и габбровая (габбро, диориты). По комплексу петрографических и геохимических характеристик породы первой ассоциации рассматриваются в качестве реститов, образовавшихся в результате частичного плавления мантийного субстрата, а двух последующих — как дифференциаты выплавки [Грицук, 2003; Геология..., 2008]. Гипербазиты дунит-гарцбургитового состава представляют собой матрикс, содержащий тела габброидов, пироксенитов и диоритов с различной морфологией и мощностью.

Относительно свежие гарцбургиты и дуниты наиболее распространены в западной части массива, где они вместе с апогарцбургитовыми серпентинитами прослеживаются в виде узкой полосы, разделяющей докембрийские толщи и породы верлит-клинопироксенитовой ассоциации. В восточной части массива преобладают полностью серпентинизированные ультрабазиты, превращенные в антигоритовые

<sup>1</sup> Институт геологии УНЦ РАН, ст. науч. с. e-mail: savl71@mail.ru

<sup>2</sup> Институт геологии УНЦ РАН, докт. геол.-минер. н., профессор, чл.-корр. РАН.

<sup>3</sup> Институт геологии УНЦ РАН, мл. науч. с., e-mail: bazhin\_evgeniy@mail.ru

<sup>4</sup> Институт геологии УНЦ РАН, зав. лаб., докт. геол.-минер. н., e-mail: SAVant@inbox.ru

<sup>5</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра динамической геологии, доцент, канд. геол.-минер. н., e-mail: maria\_roman@mail.ru

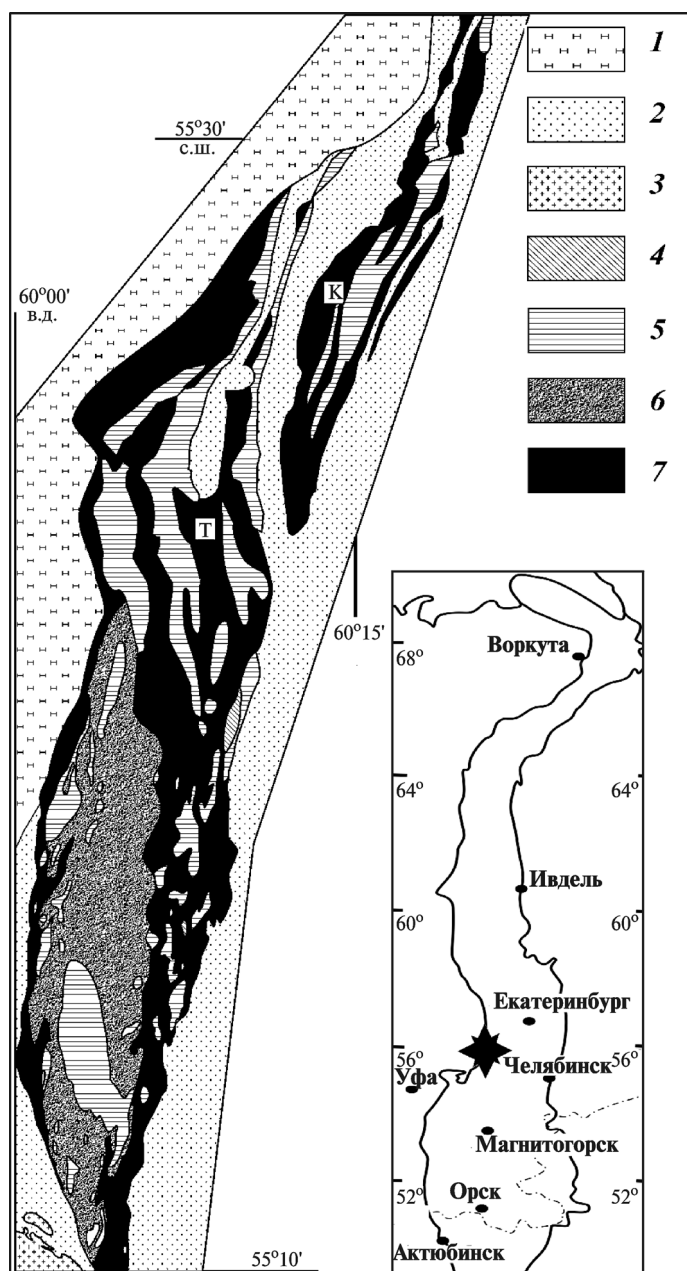


Рис. 1. Схема геологического строения Таловского и Карабашского массивов по данным В.В. Бабкина (1982), А.Н. Черноострова (1995), В.И. Петрова (2000), А.Н. Грицука (2003): 1 — докембрийские метаморфические образования Центрально-Уральского поднятия; 2 — палеозойские вулканогенно-осадочные толщи Тагило-Магнитогорской мегазоны; 3 — гранитоиды; 4 — диориты; 5 — габброиды; 6 — верлиты и клинопироксениты; 7 — дуниты, гарцбургиты и развитые по ним серпентиниты. Буквами на схеме обозначены массивы: Т — Таловский, К — Карабашский

и хризотилевые серпентиниты. Породообразующие минералы гарцбургитов — магнезиальный оливин ( $Fa_{7-12}$ ) и энстатит ( $Fs_{8-10}$ ). Для пород характерны порфирикластическая и протогранулярная структуры. Обычно энстатит присутствует в виде деформированных зерен с облачным погасанием. Деформация выражена в изгибах линейно-плоскостных элементов структуры минерала — трещин спайности, ламеллей диопсида.

В северо-восточной части массива преобладают габбровые тела неправильной формы, часто вытянутые в меридиональном направлении. Среди серпентинитов в восточной части массива встречаются тела кварцевых диоритов, реже гранитоидов. Южную часть массива составляют породы верлит-клинопироксенитовой ассоциации и габбро, образующие вытянутое в меридиональном направлении тело, имеющее концентрически зональное строение. Ядро его сложено габброидами, а периферия — преимущественно верлитами и оливиновыми клинопироксенитами. Кроме крупного центрального тела габброиды образуют среди пироксенитов и апогарцбургитовых серпентинитов многочисленные мелкие обособления овальной формы.

Как следует из данных нормативного пересчета химических анализов пород, среди серпентинитов преобладают апогарцбургитовые разновидности со значительной вариацией содержания энстатита (60–90%), редкие образцы обнаруживают аподунитовую природу (табл. 1, рис. 2). Аполерцолитовые серпентиниты среди гипербазитов в восточной части массива не отмечены. Вместе с тем относительно

Таблица 1

Средний химический состав пород Таловского габбро-гипербазитового массива

№ п/п	Число анализов	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Ппп	Сумма
1	6	60,97	0,45	15,5	6,17	0,10	2,60	5,40	3,90	1,20	4,00	100,29
2	4	52,36	0,54	15,21	8,71	0,14	5,91	9,25	3,87	0,67	2,00	98,66
3	17	47,87	0,53	15,94	12,12	0,15	8,62	11,20	2,60	0,47	0,50	100,00
4	2	48,79	1,02	12,85	9,31	0,19	6,76	11,24	4,66	1,73	2,40	98,95
5	6	45,84	0,52	9,72	9,95	0,13	20,54	7,94	1,90	0,25	2,02	98,81
6	24	49,55	0,25	3,10	7,50	0,20	18,20	17,60	0,60	0,10	2,00	99,10
7	14	46,09	0,16	1,20	10,44	0,18	25,20	11,70	0,70	0,04	4,30	100,01
8	3	41,04	0,09	1,25	15,00	0,21	31,70	5,80	1,00	0,40	5,10	101,59
9	11	41,00	0,05	1,50	8,20	0,10	38,60	1,50	0,20	0,03	7,00	98,18
10	17	38,02	0,06	0,60	12,20	0,14	42,10	0,70	0,44	0,06	6,33	100,65
11	12	42,00	0,08	0,62	8,39	0,10	36,13	1,77	0,69	0,09	10,20	100,11

Примечания: 1 — диориты кварцевые, 2 — габбро-диабазы, 3 — габбро, 4 — габбро роговообманковые, 5 — горнблендиты, 6 — клинопироксениты, 7 — верлиты, 8 — лерцолиты, 9 — гарцбургиты, 10 — дуниты, 11 — серпентиниты. Анализы заимствованы из работы [Грицук, 2003], а также из работ В.В. Бабкина (1982) и В.И. Петрова и др. (2000).

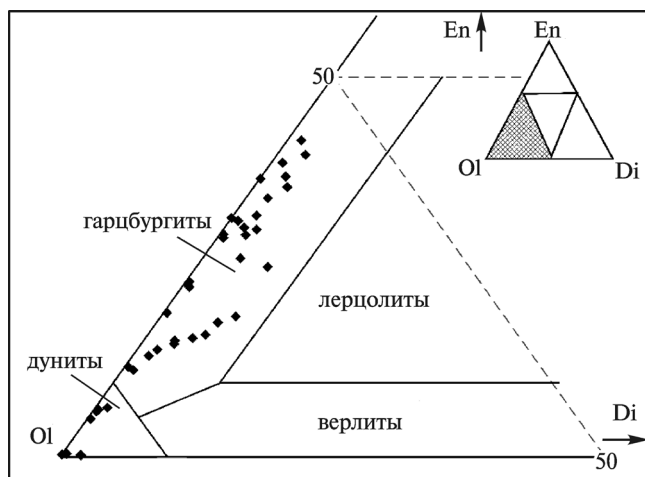


Рис. 2. Нормативный состав серпентинизированных гипербазитов и серпентинитов дунит-гарцбургитовой ассоциации Таловского массива

свежие породы, по модальному минеральному составу близкие к лерцолитам, отмечаются в составе верлит-пироксенит-габбрового комплекса массива.

Первичные ультрабазиты и габброиды претерпели разнообразные вторичные изменения, среди которых наиболее распространены антигоритизация, хризотилизация, оталькование, карбонатизация в гипербазитах, хлоритизация, эпидотизация, окварцевание, родингитизация в габброидах. Прогрессивный метаморфизм ультрабазитов ведет к образованию на месте первичных хромшпинелидов хроммагнетита и магнетита. Металлогеническая специализация ультраосновных пород массива определяется мелкими проявлениями хромитов (Августовское и др.); при

гидротермальном изменении гарцбургитов образовались небольшие месторождения хризотил-асбеста, а с габброидами связаны проявления меди. Вблизи восточного контакта гипербазитов с вмещающими вулканогенными породами известны многочисленные месторождения и проявления золота (Наилинское, Тыелгинское и др.). В аллювии вблизи Южного участка Наилинского месторождения золота обнаружены платиноиды Ru-Ir-Os состава (Os 58,72%, Ir 36,14%, Ru 5,14%) [Грицук, 2003].

**Петрохимические особенности пород Таловского массива.** Геохимические особенности ультрабазитов и габброидов Таловского массива детально рассмотрены нами в работе [Геология..., 2008]. Породы дунит-гарцбургитовой ассоциации имеют стандартные для реститов петрохимические характеристики: они обеднены CaO, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и щелочами и обогащены MgO, NiO и Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Содержание нормативного диопсида в породах, как правило, не превышает 5%, тогда как концентрация нормативного энстатита значительно варьирует (0–40%). Выделено два геохимических типа пород (табл. 2, рис. 3): 1) с хондритовым уровнем концентрации РЗЭ (La<sub>N</sub> ≈ Sm<sub>N</sub> ≈ Lu<sub>N</sub> ≈ 1) и 2) с W-образным типом распределения РЗЭ (La<sub>N</sub> ≈ Lu<sub>N</sub> = 1÷5, Sm<sub>N</sub> = 0,1÷1, Eu<sub>N</sub> = 0,5÷5) [Геология..., 2008].

В породах верлит-клинопироксенит-габбрового комплекса концентрация базальтоидных компонентов увеличивается. В габбро содержание TiO<sub>2</sub> значительно варьирует (0,2–1,4%), в рудных габбро достигает 3,02%. В габброидах при повышении содержания кремнезема от 41,9 до 52,45% наблюдается постоянное увеличение содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от верлитов (1,36–8,5%) к габбро

Таблица 2

Содержание редкоземельных элементов в породах Таловского массива\*

Элемент	Порода										
	1 (15)	2 (2)	3 (1)	4 (1)	5 (2)	6 (3)	7 (2)	8 (2)	9 (3)	10 (6)	11 (11)
La	1,898	6,015	7,750	3,580	17,715	0,730	5,750	0,850	0,517	0,550	1,080
Ce	4,918	11,800	21,500	9,550	27,800	2,767	8,650	2,405	1,293	1,298	1,592
Pr	0,761	1,385	3,700	1,430	2,585	0,507	0,725	0,410	0,200	0,179	0,149
Nd	4,131	5,235	22,300	7,070	8,200	3,233	2,155	2,450	1,013	0,862	0,493
Sm	1,548	1,290	8,270	2,310	1,740	1,370	0,415	0,995	0,350	0,278	0,117
Eu	0,718	0,325	1,550	1,290	0,445	0,247	0,365	0,375	0,263	0,055	0,094
Gd	2,500	1,575	11,600	3,680	2,150	2,043	0,670	1,800	0,660	0,515	0,207
Tb	0,404	0,235	1,720	0,570	0,330	0,327	0,125	0,280	0,127	0,091	0,039
Dy	2,519	1,390	9,300	3,320	1,920	2,017	0,865	1,695	0,887	0,597	0,282
Ho	0,583	0,305	1,960	0,740	0,415	0,460	0,230	0,390	0,240	0,152	0,077
Er	1,726	0,850	5,150	2,140	1,130	1,333	0,770	1,125	0,843	0,477	0,261
Tm	0,277	0,127	0,700	0,330	0,165	0,210	0,140	0,180	0,163	0,081	0,049
Yb	1,593	0,685	3,860	1,740	0,890	1,177	0,900	1,030	1,133	0,515	0,335
Lu	0,288	0,113	0,580	0,300	0,145	0,215	0,180	0,325	0,243	0,096	0,067

Примечания: 1–3 — габброиды (1 — тип N-MORB, 2 — La<sub>N</sub>>Sm<sub>N</sub>>Lu<sub>N</sub>, 3 — роговообманковое габбро с повышенным содержанием всех РЗЭ), 4 — сиенодиорит, 5 — гранитоиды, 6–7 — клинопироксениты (6 — тип N-MORB, 7 — La<sub>N</sub>>Sm<sub>N</sub>>Lu<sub>N</sub>), 8 — верлиты, 9 — оливковые вебстериты, 10–11 — серпентинизированные дуниты и гарцбургиты и апогарцбургитовые серпентиниты (10 — La<sub>N</sub><Sm<sub>N</sub><Lu<sub>N</sub>, 11 — W-образный тип распределения РЗЭ). В скобках — число анализов.

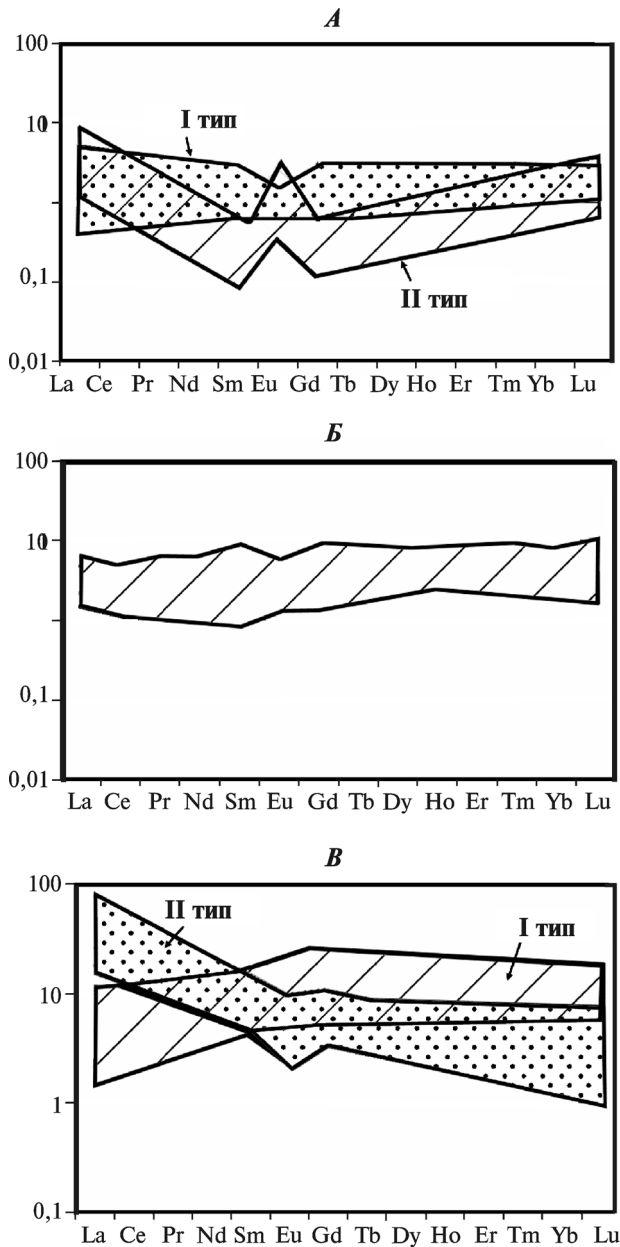


Рис. 3. Распределение редкоземельных элементов в породах Таловского массива, нормированное относительно хондрита C1: А — серпентинизированные гарцбургиты и дуниты, апогарцбургитовые серпентиниты; Б — клинопироксениты, верлиты, оливиновые вебстериты; В — габброиды типа N-MORB (I тип), габбро и гранитоиды, обогащенные легкими РЗЭ (II тип)

(12,76–16%) и габбро-диоритам (до 24,8%). В прямой зависимости с этими показателями находится щелочность пород. Сумма  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  в верлитах и пироксенитах массива, как правило, не превышает 0,5% и увеличивается в габброидах до 3% в меланогаббро и до 5–7,5% в габбро-диоритах.

В верлитах и пироксенитах редкоземельные элементы распределены равномерно. В подавляющем большинстве образцов отмечено слабое увеличение хондрит-нормированных значений от легких к тяжелым лантаноидам ( $\text{La}_N = 2 \div 8$ ,  $\text{Sm}_N = 1 \div 10$ ,  $\text{Lu}_N = 2 \div 10$ ). В габброидах отмечают два контрастных типа распределения редкоземельных элементов (рис. 3): для

первого типа характерно невысокое содержание РЗЭ с преобладанием тяжелых лантаноидов над легкими ( $\text{La}_N = 2 \div 11$ ,  $\text{Sm}_N = 5 \div 15$ ,  $\text{Lu}_N = 8 \div 20$ ), во втором — отмечается резкое обогащение легкими лантаноидами ( $\text{La}_N = 20 \div 80$ ,  $\text{Sm}_N = 5 \div 10$ ,  $\text{Lu}_N = 1 \div 9$ ).

Принадлежность Таловского массива к комплексам офиолитового типа подтверждается также расположением фигуративных точек составов слагающих его гипербазитов на диаграмме  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2 - \text{MgO}/(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$  (рис. 4). При этом все точки, характеризующие апоперидотитовые серпентиниты, находятся в поле магнезиальных гипербазитов и представляют собой, скорее всего, истощенный легкоплавкими компонентами рестит. Базиты и гипербазиты габброидного комплекса, напротив, образуют непрерывный тренд составов, направленный из магнезиальной области в железистую. Довольно компактное изолированное поле реститов, с одной стороны, и протяженный тренд габбро и пород полосчатого комплекса — с другой свидетельствуют об их различном генезисе. Для последних, по нашему мнению, наиболее вероятно возникновение при дифференциации базальтового расплава, отделившегося от мантийного источника.

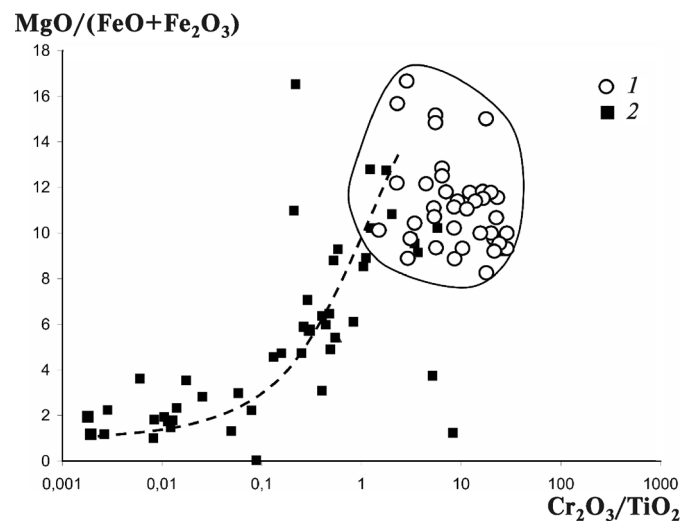


Рис. 4. Диаграмма  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2 - \text{MgO}/(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$  для пород Таловского габбро-гипербазитового массива: 1 — ультрабазиты дунит-гарцбургитовой ассоциации; 2 — породы верлит-клинопироксенит-габбрового комплекса

Один из наиболее важных типоморфных минералов ультрабазитов — хромшпинелид. Это связано как с чувствительностью его к условиям кристаллизации, так и со значительной устойчивостью минерала в процессе вторичных преобразований ультрабазитов [Магматические горные породы, 1988; Макеев, 1992]. Первичные хромшпинелиды из ультрабазитов складчатых областей занимают разное положение на треугольной диаграмме  $\text{Al}-\text{Cr}-\text{Fe}^{+3}$  (рис. 5). Составы хромшпинелидов офиолитовых массивов обычно образуют вытянутые поля вдоль стороны  $\text{Al}-\text{Cr}$ , для них характерен тренд пикотит — хромпикотит — алюмохромит — хромит (рис. 5, А). При этом с увеличением

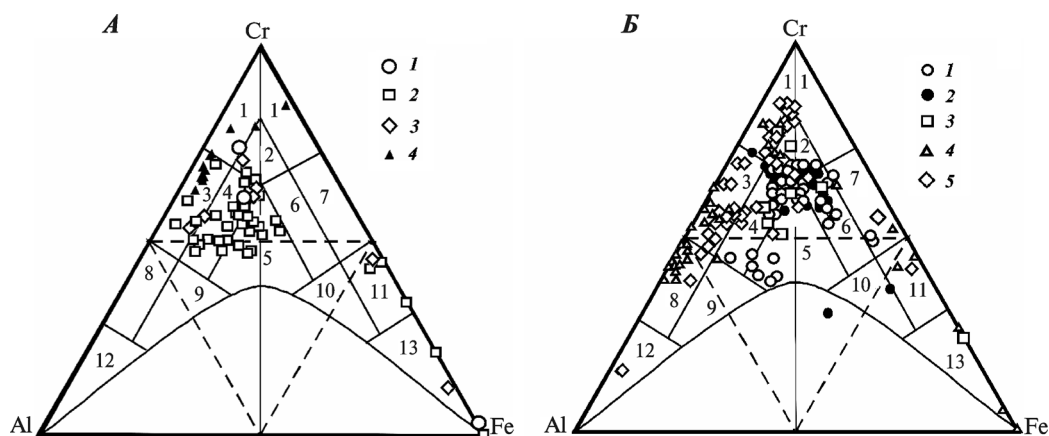


Рис. 5. Составы хромшпинелидов Таловского габбро-гипербазитового массива, офиолитов и концентрически зональных комплексов Таловского массива (с использованием данных Г.Г. Кораблева и др., 1999) и массивов Платиноносного пояса [Чашухин и др., 2009], офиолитов и ультрабазитов современных ГДО [Геология..., 1980]: А — Таловский массив: 1 — верлиты, 2 — серпентиниты, 3 — дуниты, 4 — хромититы; Б — Платиноносный пояс Урала: 1 — дуниты, 2 — хромититы; 3 — ультрабазиты Сахаринского массива; 4 — ультрабазиты Куликовского массива; 5 — ультрабазиты Филиппинского моря.

Поля составов: 1 — хромит, 2 — субферрихромит, 3 — алюмохромит, 4 — субферриалюмохромит, 5 — ферриалюмохромит, 6 — субалюмоферрихромит, 7 — феррихромит, 8 — хромпикотит, 9 — субферрихромпикотит, 10 — субалюмохроммагнетит, 11 — хроммагнетит, 12 — пикотит, 13 — магнетит

степени деплетирования поля составов продвигаются к вершине треугольника (Cr), а глиноземистые составы постепенно исчезают. Хромшпинелиды из массивов дунит-пироксенит-габбровой формации характеризуются более высокой железистостью и низким содержанием глинозема, они образуют компактное поле, соответствующее по составу субферрихромиту, субферриалюмохромиту, ферриалюмохромиту, субалюмоферрихромиту. В пределах полей 2, 4 на рассматриваемой диаграмме (рис. 5, Б) часто наблюдается перекрытие составов хромшпинелидов из дунитов и хромититов офиолитовых комплексов и таковых дунит-пироксенит-габбровой формации.

На диаграмме Al–Cr–Fe<sup>+3</sup> хромшпинелиды Таловского массива образуют компактное поле, перекрывающее область деплетированных реститов и область железистых хромшпинелидов платиноносной ассоциации (рис. 5, А). Наиболее распространены среди них алюмохромиты, субферриалюмохромиты и ферриалюмохромиты. Подобное совмещение различных типов хромшпинелидов в пределах одного массива не характерно для Южного Урала. Близкая ситуация зафиксирована лишь на восточном фланге Магнитогорской мегазоны, где пространственно сближены Сахаринский дунит-пироксенит-габбровый массив и Куликовский дунит-гарцбургитовый массив. Аксессуарные хромшпинелиды из первого сопоставимы по составу с таковыми Платиноносного пояса, а из второго — с деплетированными реститами офиолитов. Среди ультрабазитов в современных геодинамических обстановках совмещение двух указанных типов хромшпинелидов отмечается в системе глубоководный желоб — островная дуга — окраинное море [Геология..., 1980].

**Заключение.** Рассмотренные выше петрогеохимические данные свидетельствуют: 1) ультрабазиты дунит-гарцбургитовой ассоциации — это реститы,

образовавшиеся в результате частичного плавления мантийного субстрата, причем наряду с геохимически истощенными породами (W-образный тип распределения РЗЭ) встречаются и слабодеплетированные; 2) базиты и ультрабазиты верлит-клинопироксенит-габбровой ассоциации представляют собой магматические образования, среди которых преобладают низкотитанистые породы, обедненные редкоземельными элементами; реже встречаются габбро, обогащенные легкими лантаноидами; 3) среди хромшпинелидов практически отсутствуют глиноземистые разновидности, большая часть их относится к алюмохромиту, субалюмоферрихромиту и ферриалюмохромиту, что сближает Таловский массив с концентрически зональными комплексами.

Геологическая позиция и внутреннее строение Таловского габбро-гипербазитового массива, а также состав хромшпинелидов позволяют высказать предположение о первично океанической, а затем надсубдукционной обстановке формирования рассматриваемого комплекса. Вероятно, ультрабазиты дунит-гарцбургитового матрикса представляют собой вещество «мантийного клина», прорванного многочисленными инъекциями верлит-клинопироксенит-габбрового состава. Отметим, что весь набор петрографических разновидностей пород, представленных в пределах изученного массива, известен среди ксенолитов в вулканогенных породах современных островных дуг [Колосков, 1999]. Эта точка зрения на геодинамическую природу рассматриваемого комплекса подтверждается наличием в его окружении островодужных вулканитов базальт-андезит-риолитового и базальт-андезитового состава. Отсутствие на западе ультрабазитов и базальтов, сопоставимых с породами срединно-океанических хребтов, можно объяснить особенностями наложенных коллизионных процессов и денудацией.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Варлаков А.С.* Петрология процессов серпентинизации гипербазитов складчатых областей. Свердловск, 1986. 224 с.
- Геология дна Филиппинского моря. М.: Наука, 1980. 261 с.
- Геология, петрогеохимия и хромитоносность габбро-гипербазитовых массивов Южного Урала. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2008. 320 с.
- Гришук А.Н.* Петрогеохимические особенности и рудоносность Таловского габбро-гипербазитового массива: Автореф. канд. дис. М.: МГУ, 2003.
- Иванов К.С., Шмелев В.Р., Ронкин Ю.Л.,* и др. Зональные габбро-ультрамафитовые комплексы // Строение и динамика литосферы Восточной Европы. Результаты исследований по программе EUROPROBE. М.: ГЕОКАРТ, ГЕОС, 2006. Вып. 2. С. 437–445.
- Колосков А.В.* Ультраосновные включения и вулканиты как саморегулирующаяся геологическая система. М.: Научный мир, 1999. 224 с.
- Магматические горные породы. Т. 5. Ультраосновные горные породы / Под ред. Е.В. Шаркова. М.: Наука, 1988. 508 с.
- Макеев А.Б.* Минералогия альпинотипных ультрабазитов Урала. СПб.: Наука, 1992. 197 с.
- Чащухин И.С., Вотяков С.Л., Шапова Ю.В.* Кристаллохимия хромшпинели и окситермобарометрия ультрамафитов складчатых областей. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2007. 310 с.

Поступила в редакцию  
18.09.2009