



УДК 552.3:550.42(571.151)

ПЕТРОЛОГИЯ РАССЛОЕННОГО ХАРЛОВСКОГО МАССИВА В ГОРНОМ АЛТАЕ

А. И. Гусев*, Н. И. Гусев**

Рассмотрены петрография, петрология, геохимия и генезис расслоенного Харловского массива в Горном Алтае. Акцентировано внимание на особенностях и параметрах флюидного режима, сказавшиеся на последовательности магматических ликватов и дифференциатов и их рудоносности. Разграничены петрологические аспекты камерной и глубинной очаговой ликвации и дифференциации, обусловившие рудогенез Харловского массива. Приведены данные по мантийному источнику плавления и смешения с коровым материалом. Выявлены М- и W-типы тетрадного эффекта фракционирования редкоземельных элементов, тесно увязывающихся с особенностями флюидного режима.

Ключевые слова: *расслоенный интрузив, рудные пироксениты, меланогаббро, лейкогаббро, анортозиты, кварцевые монзониты, кварцевые сиенодиориты, граносиениты, ликвация, дифференциация, мантийно-коровое взаимодействие.*

PETROLOGY OF THE LAMINATED HARLOVSKY MASSIF IN THE GORNY ALTAI

A. I. Gusev, N. I. Gusev

The article considers the petrography, petrology, geochemistry and genesis of the laminated Harlovsky massif in the Gorny Altai. The attention is focused on characteristics and parameters of the fluid regime that have affected the sequence of magmatic liquates and differentiates and their ore content. Petrological aspects of the chambered and deep focal liquation and differentiation, caused the ore genesis in the Harlovsky massif, are distinguished. Data on the mantle source of the melting and intermixture with crustal material are given. The revealed M- and W-types of the tetrad effect of rare earth elements fractionation are closely tied up with the fluid regime characteristics.

Keywords: *laminated intrusive, ore pyroxenites, melanogabbro, leucogabbro, anorthosites, quartz monzonites, quartz syenodiorites, granosyenites, liquation, differentiation, mantle-crust interaction.*

Харловский расслоенный интрузив располагается в зоне разлома на границе Чарышского и Талицкого тектонических блоков Горного Алтая. Массив имеет концентрически зональное строение с падением слоев к центру под углами 60–70°. Площадь массива 10 км². Он сложен в основном рудными оливиновыми меланократовыми габбро, составляющими почти 50 % вскрытой части массива. Развита также лейкократовые габбро, реже рудные габбро-пироксениты, троктолиты, габбро-нориты, анортозиты. С. П. Шокальский связывает формирование массива с несколькими фазами внедрения: 1) лейко- и мезократовыми габбро, титаномагнетитовыми оливиновыми меланогаббро и пироксенитами; 2) диоритами и диоритовыми порфиритами (штоками и дайками); 3) биотит-роговообманковыми кварцевыми монцодиоритами (штоками и дайками); 4) граносиенитами (шок) [8]. В этой схеме мы дополнительно рассматриваем анортозиты, указывающие на главный тренд ликвации в магматической камере при становлении Харловского расслоенного массива.

Для габброидных пород наиболее характерны полосчатая и трахитоидная текстуры, реже встречается массивная. Трахитоидность подчеркивается субпараллельной ориентировкой призматических индивидов плагиоклаза. Структура

пород среднезернистая, офитовая. Плагиоклаз по химизму и оптическим показателям относится к битовниту (№ 74-83). Пироксен и оливин ксеноморфны по отношению к плагиоклазу. Ильменит и титаномагнетит резко ксеноморфны и приурочены к интерстициям зерен плагиоклаза, оливина и пироксена. В титаномагнетите присутствует значительное количество вростков ильменита и шпинели (герцинита). Расслоенность массива подчеркивается не только чередованием лейко-меланократовых и различных по щелочности разностей пород, но и зональным распределением шпинели в титаномагнетите. Пластинчатые вростки шпинели в титаномагнетите на верхних горизонтах массива составляют до 20–30 % по объему, а с глубиной их количество заметно уменьшается (до 10 %). Расслоенность интрузива и вертикальная зональность проявляются также в изменении содержания валового железа, титана и ванадия в титаномагнетитовых концентратах по вертикали [7]. Содержание валового железа в этом направлении возрастает с 58 до 62–64 %, пентоксида ванадия вначале увеличивается от 0,63 до 0,94 %, а затем уменьшается до 0,55–0,71 %, а в самой нижней части разреза вновь повышается до 0,83 %, подчеркивая повторяющуюся циклическую зональность. Содержание оксида титана в концентратах сокращается от 11 до 5 %, а затем возрастает до 6,2 %. Аналогичный характер изме-

*АГАО (Бийск); ** ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург)



нения содержаний железа, титана и ванадия отмечен по монофракциям титаномагнетита, проанализированным В. А. Вахрушевым из штуфов по скважинам [1]. По составу титаномагнетит из руд относится к глиноземистой разновидности (мас. %): FeO 39,2–40,6, Fe₂O₃ 33,5–33,7, TiO₂ 16,1–16,4, Al₂O₃ 5,5–6,2, MgO 3,3–3,4, MnO 0,3–0,4.

Минеральный и химический состав пород расслоенного массива закономерно меняется от наиболее меланократовых разновидностей к лейкократовым. Химизм главных разновидностей пород Харловского массива приведен в табл. 1, а их нормативный состав – в табл. 2.

ного корунда. В составе граносиенита не наблюдается нормативного диопсида. В ряду пород от меланогаббро к граносиениту снижается количество нормативного ильменита от 9,44 до 0,82 %. Пироксениты по составу относятся к феррогаббро с суммарным содержанием железа более 21 мас. %.

В ряду дифференциатов от рудных пироксенитов к граносиениту отношение суммарного железа к магнезию увеличивается от 2,85 до 4,5. Изменение химизма и минерального состава пород в этом направлении генетически связано с кристаллизационным фракционированием

Таблица 1

Химический состав пород Харловского массива

Породы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
Рудные пироксениты n = 18, X, %	37,95	4,97	13,13	10,67	10,35	0,23	7,35	11,35	1,36	0,16	0,17
S	3,23	0,75	2,27	2,0	1,58	0,12	1,62	1,96	0,38	0,12	0,14
Габбро n = 7, X, %	42,42	3,62	18,7	7,42	7,15	0,14	4,67	12,1	1,8	0,16	0,05
S	0,51	0,64	0,93	1,2	0,43	0,02	0,75	1,35	0,18	0,11	0,04
Лейкогаббро n = 7, X, %	47,06	2,41	19,46	4,76	6,15	0,16	3,24	10,4	3,01	0,44	0,62
S	1,1	0,11	3,24	0,66	1,6	0,06	1,05	2,53	0,22	0,16	0,42
Кварцевый монцонит n = 1	58,88	1,7	16,39	3,80	4,01	0,2	2,47	4,76	4,58	2,54	0,53
Кварцевый монцодиорит n = 7, X, %	59,18	1,62	15,57	3,47	4,53	0,17	2,28	4,69	4,18	2,43	0,5
S	0,32	0,45	0,36	0,53	0,41	0,02	0,17	0,36	0,41	0,34	0,14
Сиенодиориты n = 6, X, %	55,3	1,76	16,4	4,84	4,57	0,18	2,39	5,8	4,69	2,31	0,8
S	2,62	0,36	0,33	0,68	0,73	0,03	0,73	0,69	0,76	0,45	0,2
Плагιοграносиениты n = 8, X, %	66,64	0,64	15,42	1,87	2,48	0,11	0,77	2,51	5,06	3,54	0,19
S	1,36	0,18	0,15	0,61	0,29	0,03	0,29	0,69	0,24	0,23	0,06
Граносиениты n = 1	68,92	0,43	15,68	1,35	1,53	0,11	0,64	1,65	4,49	3,72	0,14
Анортозиты n = 6, X, %	46,22	2,41	22,89	4,28	4,63	0,11	2,3	12,63	3,01	0,36	0,18
S	0,39	0,064	0,51	0,16	0,26	0,008	0,25	0,15	0,05	0,06	0,09

Примечание: n – объем выборок; X, % – средние содержания элементов в массовых процентах; S – стандартное отклонение.

Состав пород Харловского массива от «рудных» пироксенитов с титаномагнетитом к граносиенитам закономерно и однонаправленно меняется. Выделяются две ветви: 1) от пироксенитов к анортозитам и лейкогаббро, отражающая дифференциацию в магматической камере, 2) от сиенодиорита к граносиениту, отвечающая дифференциации в магматическом очаге. В наиболее меланократовых породах (пироксенитах и габбро) отмечаются нормативный нефелин и отсутствие гиперстена. От пироксенитов к лейкогаббро снижается количество нормативного оливина (от 26,95 до 7,56 %). В последующих дифференциатах оливин не встречается, но появляется кварц (см. табл. 2). В граносиенитах резко увеличивается количество глинозема с появлением норматив-

компонентов (оливина, пироксенов, плаггиоклаза, титаномагнетита). Вкрапленные титаномагнетитовые руды генетически связаны с остаточными основными магмами (феррогаббровыми). Они образуются в результате проявления в таких магмах жидкостной несмесимости лейкократовых и меланократовых составляющих процесса ликвации. Наглядно процесс дифференциации виден на диаграмме (рис. 1), показывающей координаты главных его элементов и, что особенно важно, титана – главного рудного компонента. Тренд дифференциации имеет заметный перегиб и разрыв на отрезке между лейкогаббро и сиенодиоритами, обусловленный тем, что на первом этапе происходила внутрикамерная ликвация, а на втором – дифференциация глубинного маг-



Таблица 2

Нормативный минеральный состав пород Харловского массива (%)

Минерал	Породы								
	Пироксениты	Габбро	Лейкогаббро	Анортозиты	Кварцевые монцодиориты	Кварцевые монцониты	Сиенодиориты	Плагιοграносиениты	Граносиениты
Кварц	–	–	–	–	8,95	5,5	0,51	15,07	8,01
Корунд	–	–	–	–	–	–	–	–	1,6
Ортоклаз	0,95	0,95	2,6	2,13	14,36	15,01	13,65	20,92	21,99
Альбит	3,51	14,02	25,47	20,76	35,37	38,75	39,68	42,81	37,99
Анортит	29,25	42,48	38,29	47,89	16,55	16,67	17,26	8,91	7,27
Нефелин	4,33	0,65	–	2,55	–	–	–	–	–
Диопсид	21,80	14,51	7,82	11,52	2,93	2,94	5,35	1,98	–
Гиперстен	–	–	9,47	–	15,89	15,83	17,05	7,69	37,73
Оливин	26,95	17,89	7,56	8,75	–	–	–	–	–
Ильменит	9,44	6,87	4,58	4,58	3,08	3,23	3,34	1,22	0,82
Апатит	0,4	0,12	1,47	0,43	1,18	1,26	1,89	0,45	0,33

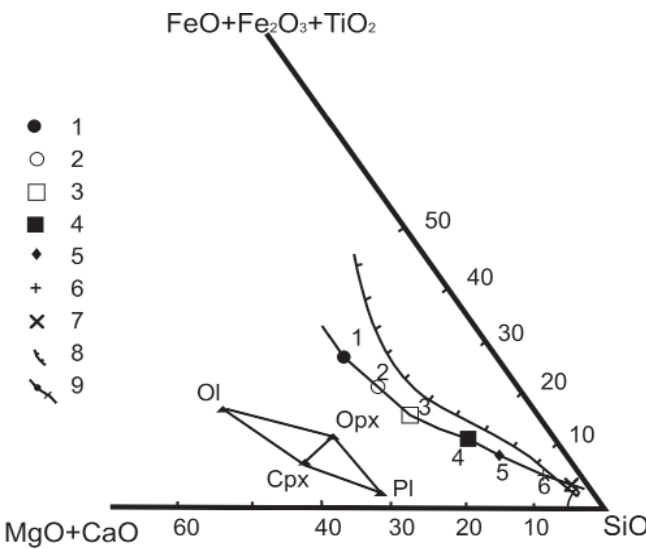


Рис. 1. Петрохимическая диаграмма $(\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2)$ – $\text{SiO}_2-(\text{MgO}+\text{CaO})$ (мас. %) магматической дифференциации для Харловского магматического очага

Породы Харловского массива: 1 – меланократовые габбро с титаномagnetитом, 2 – габбро, 3 – лейкогаббро, 4 – сиенодиориты, 5 – кварцевые монцониты, 6 – плагιοграносиениты, 7 – граносиениты; 8 – контур расщепления ферробазальтовой магмы (по А. А. Маракушеву [4]); 9 – тренд дифференциации Харловского магматического очага; минералы: Ol – оливин, Орх – ортопироксен, Срх – клинопироксен, Pl – плагиоклаз

матического очага. Это подтверждается геологическими данными.

Породы существенно габбрового массива пересечены и интродированы штоками, дайками и малыми телами кварцевых монцодиоритов, сиенодиоритов, граносиенитов. Единый ряд пород, производных магматического очага, подтверждается не только геологическими данными, но и изменением их химизма и минерального состава. Кроме того, все породы, несмотря на варьирование в них содержания титана, относятся к группе высокотитанистых разновидностей. По сути, Харловский расслоенный массив соответствует классическому феннеровскому ряду дифферен-

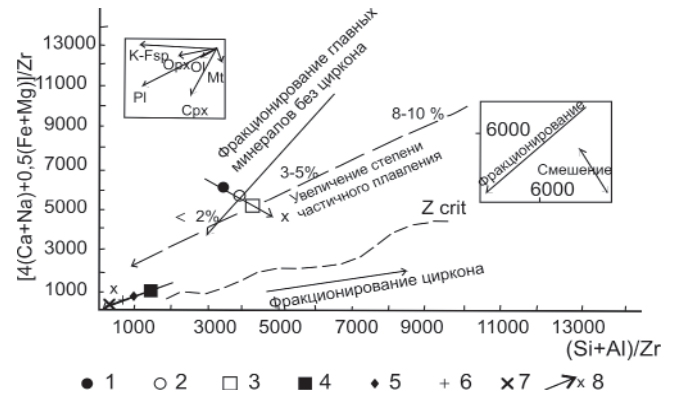


Рис. 2. Диаграмма молекулярных отношений $[4(\text{Ca}+\text{Na})+0,5(\text{Fe}+\text{Mg})]/\text{Zr}-(\text{Si}+\text{Al})/\text{Zr}$ (по Т. Брэдшоу [12]) для пород Харловского массива

Породы Харловского массива: 1 – меланократовые габбро с титаномagnetитом, 2 – габбро, 3 – лейкогаббро, 4 – сиенодиориты, 5 – кварцевые монцониты, 6 – плагιοграносиениты, 7 – граносиениты; 8 – тренды фракционирования пород Харловского массива

циации. На диаграмме (рис. 2) тренд дифференциации (ликвации) на первом этапе противоположен дифференциации, связанной с фракционированием главных минералов. Степень частичного плавления первоначального субстрата была невысокой (между 2 и 3–5 %). На втором этапе дифференциации от кварцевого монцонита к плагιοграносиениту тренд дифференциации близок к тренду калиевого полевого шпата и плагиоклаза.

Принципиальная схема флюидно-магматического разделения железа и магния в расплавах рассмотрена А. А. Маракушевым [2]. При этом выделены флюиды различного состава: 1) компоненты флюида, экстрагирующие магний (F_2 , CO_2 , H_2O , SO_2 , усиливающие эффект кристаллизационной дифференциации в части значений отношений Fe/Mg); 2) компоненты, препятствующие накоплению в расплаве железа (Cl_2 , H_2S , S_2).

Отделение от расплава флюидов богатыми компонентами, подобными фтору (с высоким хи-



мическим сродством с магнием), должно способствовать повышению железистости расплавов и эволюции их в сторону гортонолитовых дунитов, ферробазальтов и феррогаббро, исландитов.

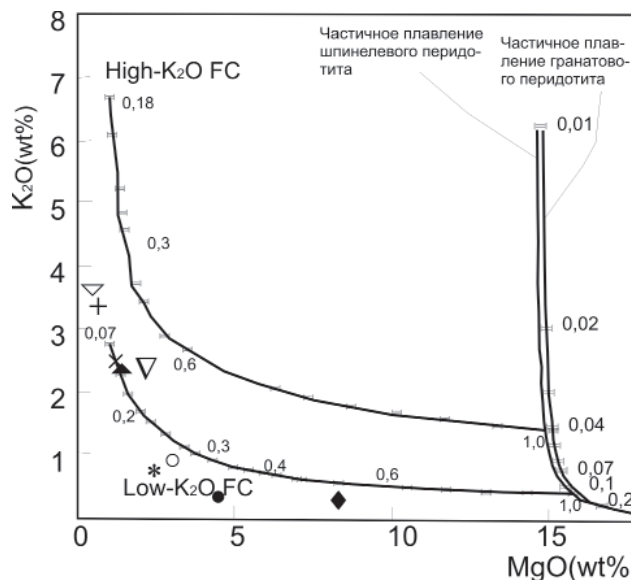
В нашем случае, на диаграмме четко прослеживается тренд дифференциации Харловского магматического глубинного очага, направленный от феррогаббро в сторону исландитов (угол SiO₂ диаграммы). Следовательно, процесс дифференциации расплава в Харловском глубинном магматическом очаге осуществлялся при активной роли флюидов, содержавших фтор, углекислоту, воду и другие компоненты. Тонкая полосчатость (несколько сантиметров), которая часто встречается в Харловском массиве, по мнению А. А. Маракушева [2, 3], обусловлена активной ролью флюидов при ликвации в магматической камере. По составу летучих компонентов и обилию углекислоты определено мантийное происхождение флюидов. Это флюидно-магматическое взаимодействие в магматическом очаге проходило под воздействием потоков фильтрующихся флюидов (транзмагматических в понимании Д. С. Коржинского).

Положение Харловского массива в зоне глубинного разлома весьма благоприятно для такого взаимодействия и дифференциации с накоплением рудных концентраций титана, ванадия, железа и, возможно, платиноидов. Образование рудных концентраций контролировалось высокой фугитивностью кислорода, обеспечивающей кристаллизацию титаномагнетита [5].

На рис. 2 (по Т. Брэдшоу [12]) породы Харловского массива не образуют единого тренда фракционирования, а распадаются на два тренда с большим разрывом: 1) ранний (отвечает ликвационному этапу становления Харловского массива) от меланогаббро к лейкогаббро перпендикулярен тренду фракционирования главных компонентов в расплаве и ближе к тренду смешения мантийной и коровой магм; при этом степень частичного плавления мантийного субстрата невелика (между менее 2 и 2–3 %); 2) поздний (соответствует фракционированию главных породообразующих минералов) от кварцевого монцонита до граносиенита.

На диаграмме K₂O–MgO наблюдается приуроченность фигуративных точек всех пород к тренду частичного плавления низко-K₂O фракционной кристаллизации, генерирующейся в результате частичного плавления шпинелевого перидотита (рис. 3).

Содержания элементов-примесей и редкоземельных элементов сведены в табл. 3. Все породы характеризуются значительным обогащением легких РЗЭ (Ce/Yb_N = 9,3–30,4). Выявляется четкое увеличение степени фракционирования легких РЗЭ от меланократовых пород к лейкократовым. Отсутствие европейской аномалии указывает на слабое фракционирование плагиоклаза или



♦ 1 ● 2 ○ 3 ▽ 4 × 5 ▲ 6 ▽ 7 + 8 * !

Рис. 3. Диаграмма K₂O–MgO по [15] для пород Харловского массива (вертикальные линии частичного плавления перидотитов с использованием составов мантийных ксенолитов по [11])

Породы Харловского массива: 1 – рудные пироксениты, 2 – габбро, 3 – лейкогаббро, 4 – кварцевые монцониты, 5 – кварцевые монцодиориты, 6 – сиенодиориты, 7 – плагиограносиениты, 8 – граносиениты, 9 – анортозиты

полное отсутствие этого процесса. Обогащенные плагиоклазом породы (анортозиты) обладают типичными для анортозитов мангерит-анортозитовой формации спектрами РЗЭ [6].

Особый интерес представляет характер распределения РЗЭ эндоконтактового меланогаббро, состав которого, очевидно, должен быть наиболее близок к составу родоначального расплава Харловской интрузии. В отличие от анортозитов и всех остальных пород меланогаббро несколько обогащены тяжелыми РЗЭ (Ce/Yb = 9,3), что можно объяснить присутствием в исходном расплаве компонента недеплезированной мантии.

В породах Харловского массива выявляется весьма необычная картина распределения РЗЭ (табл. 3). Для ранней ассоциации пород от рудных пироксенитов до лейкогаббро характерны два тетрадных эффекта фракционирования элементов: М-тип (выпуклая кривая распределения РЗЭ для меланогаббро) и W-тип (вогнутая кривая распределения РЗЭ для лейкогаббро и анортозитов). Если М-тип тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ связывается с ведущей ролью фтора и его комплексных соединений, то W-тип – с воздействием водной составляющей во флюидах [13, 14]. Для позднего этапа становления пород Харловского массива установлен слабо проявленный W-тип тетрадного эффекта фракционирования редкоземельных элементов (граносиениты).

Расшифровка некоторых параметров флюидного режима при кристаллизации пород Харловского массива проведена на основе изуче-



Таблица 3

Содержания некоторых элементов в породах Харловского массива (г/т)

Элементы	Рудные пироксениты, n = 3	Меланогаббро, n = 2	Лейкогаббро, n = 4	Анортозиты, n = 2	Кварцевые мон- цониты, n = 1	Граносиениты, n = 2
La	5,8	34,5	23,8	5,9	54,2	60,3
Ce	18,0	72,0	55,0	14,0	97,0	128,0
Pr	0,1	0,24	0,15	0,14	5,85	7,24
Nd	8,0	36,0	32,0	5,0	41,0	45,0
Sm	3,2	8,	8,5	1,8	8,8	9,1
Eu	1,1	1,75	2,83	3,05	3,12	3,24
Gd	4,3	5,5	8,4	1,9	7,5	7,7
Tb	0,75	1,35	1,3	0,26	1,42	1,52
Dy	3,1	8,7	7,3	1,8	8,1	8,6
Ho	0,21	0,46	0,55	0,68	1,15	2,28
Er	0,15	0,33	0,48	0,56	2,94	3,33
Tm	0,20	0,70	0,51	0,12	0,42	0,62
Yb	1,05	7,7	3,0	0,60	3,7	4,2
Lu	0,15	0,70	0,45	0,12	0,53	0,63
Hf	4,9	7,1	2,2	0,9	9,5	11,7
Ta	1,35	0,82	0,38	0,08	3,26	4,88
Sc	82,0	30,0	24,0	21,0	5,7	2,8
Th	0,5	3,1	0,6	0,19	6,4	8,5
U	0,5	1,2	0,4	<0,4	1,35	2,2
Eu/Eu*	0,90	0,74	1,01	2,75	1,15	1,16
(La/Yb) _N	0,37	0,20	0,54	0,66	0,99	0,97
(Ce/Sm) _N	1,36	2,1	1,57	1,85	2,67	3,4
(Ce/Yb)	17,1	9,3	18,3	23,3	26,2	30,4
TE _{1,3}	1,01	1,25	0,85	0,50	0,98	0,88

Примечание. Анализы выполнены инструментальным нейтронно-активационным методом в ИМГРЭ (г. Москва); n – количество проб. N – элементы нормированы по [9]. Eu* = (Sm_N+Gd_N)/2. TE_{1,3} – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ по В. Ирбер [12].

ния состава биотита и содержания в нем летучих. Следует указать, что биотиты габброидов, кварцевых монцонитов и граносиенитов массива характеризуются довольно высокими концентрациями таких летучих компонентов, как фтор (1,3–1,1 %), триоксид бора (0,7–0,5 %), вода (3,2–3,4 %).

Относительно низкие температуры кристаллизации пород, вероятно, являются следствием высоких концентраций фтора и бора в расплавах (табл. 4). Эти летучие компоненты, как известно, значительно снижают солидус магматических расплавов. Следует отметить, что реальные фугитивности кислорода во флюидах невелики, что также подтверждается аномально высокими коэффициентами восстановления флюидов и в габброидах, и в более поздних монцонитах и граносиенитах. Экспериментальные и теоретические выкладки о высоких концентрациях и активностях во флюидах фтора, углекислоты и воды подтверждаются расчетными данными (см. табл. 4). Особенно значима высокая фугитивность фтора относительно хлора в габброидах по сравнению с граносиенитами и кварцевыми монцонитами. Это необычное явление для магм базитового состава. Кроме того, специфика Харловской магморудно-метасоматической системы заключается в исключительно высоком флюидном давлении (более 1,0 мПа), при кристаллизации биотитовых габбро. Общее давление флюидов (сумма парциальных давлений воды и углекислоты) в систе-

ме составляло 1,077 мПа (см. табл. 4). По мнению А. А. Маракужева [2], отделение флюидных магм, способных концентрировать в себе рудные металлы, происходит тем эффективнее, чем выше флюидное давление. Для гипабиссальных условий кристаллизации массива и его ликвации такое давление флюидов явно аномально. Вероятно, это связано с тем, что ликвация происходила под избыточным давлением ювенильных флюидов мантийного происхождения (трансмагматических).

Необходимо указать, что подобные расслоенные массивы, помимо титана и ванадия, на глубоких горизонтах содержат платинометалльное оруденение (Аталыкский массив в Горной Шории и др.) [4]. Богатые титаномагнетитовые руды Харловского месторождения, особенно на глубоких горизонтах, следует проанализировать на платиноиды. Отметим, что последние обнаружены в технологической пробе (до 10 г/т в концентрате). Кроме того, возможные перспективы Харловского массива на малосульфидное платинометалльное оруденение подтверждаются наличием в рудоносных прослоях сульфидов: пирита, пирротина, редко пентландита. Перспективы титанового и ванадиевого оруденения не ограничиваются Харловским массивом. Расслоенные интрузии габброидов такого же типа известны в Прямоталицком и Сурьинском массивах, где, помимо титаномагнетита и магнетита, присутствуют пирит и пирротин. Кроме того, по гео-



Таблица 4

Некоторые параметры флюидного режима дифференциатов Харловского массива

Параметры флюидного режима	Биотитовое габбро	Кварцевый монцонит	Граносиенит
T, °C	820	680	690
fO ₂	-10,4	-12,6	-12,3
fH ₂ O	652,5	541,6	427,2
pH ₂ O	682,0	661,0	555,0
pCO ₂	395,0	239,0	372,8
IgfHF/IgfHCl	-1,45	-2,14	-1,55
K _{вос}	0,88	0,87	0,85
у	187,4	190,4	190,7

Примечание: T, °C – температура кристаллизации пород; fO₂, fH₂O – фугитивности кислорода и воды соответственно, мПа; pH₂O, pCO₂ – парциальные давления воды и углекислоты соответственно, мПа; K_{вос} – коэффициент восстановленности флюидов; у – условный потенциал ионизации биотита (по В. А. Жарикову, 1967).

физическим данным в Харловском рудном узле выделяются изометричные магнитные и гравитационные аномалии, аналогичные Харловской, приуроченные к крупным разломам и интерпретируемые расслоенными габброидными интрузиями на глубине: Андреевская (700–1000 нТл), Чарышская (до 800 нТл), Бурановская (до 500 нТл), Алейская (12 нТл). При этом Алейская аномалия по интенсивности намного превосходит Харловскую. Следовательно, в западной части Горного Алтая выделяется Харловский ареал расслоенных базитов общей площадью более 2025 км², перспективных на железорудное, титановое, ванадиевое и, возможно, платинометалльное оруденение.

Выводы

Приведенные результаты показывают, что расслоенный Харловский массив сформировался сложным путем. В его становлении наблюдаются два этапа: *камерный*, связанный с ликвацией расплава и образованием расслоенности массива и руд железа, титана, ванадия, и этап *магматической дифференциации* глубинного очага, процессов смешения мантийных выплавов и корового материала, связанный с формированием последующих внедрений серии монцонитов – граносиенитов. Устанавливается источник плавления мантийной составляющей в виде низкой степени частичного плавления шпинелевого перидотита. Однако не исключен и вариант частичного плавления кварцевого эклогита, что выявляется на диаграмме соотношений редкоземельных элементов.

На диаграмме рис. 4 для пород Харловского массива наблюдается близость к тренду плавления кварцевого эклогита.

В целом, феннеровский тренд дифференциации пород массива сопровождался высокой

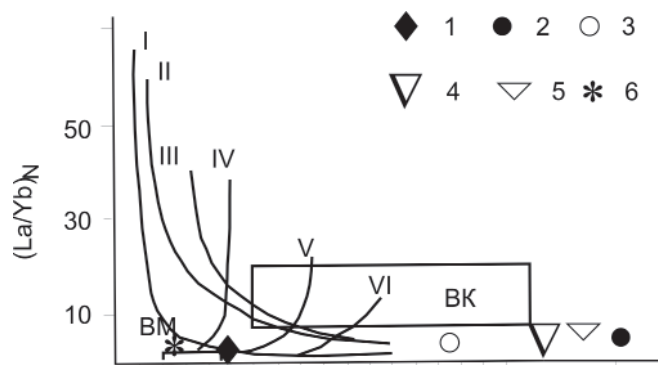


Рис. 4. Тренды плавления различных источников по [10]

I – кварцевые эклогиты; II – гранатовые амфиболиты; III – амфиболиты; гранатсодержащая мантия, с содержанием граната: IV – 10 %; V – 5 %; VI – 3 %; BM – верхняя мантия; BK – верхняя кора; породы Харловского массива: 1 – рудные пироксениты, 2 – меланогаббро, 3 – лейкогаббро, 4 – анортозиты, 5 – кварцевые монцониты, 6 – граносиениты

насыщенностью ювенильными и смешанными по составу флюидами, среди которых важнейшую роль играли фтор, бор, вода, углекислота. Становление массива происходило при высоком флюидном давлении, отвечающем абиссальной фации глубинности.

Перспективы региона на оруденение расслоенного типа не ограничиваются Харловским массивом. В приграничной полосе Чарышского и Талицкого тектонических блоков выделяются многочисленные массивы аналогичного состава и более интенсивные магнитные аномалии, отвечающие расслоенным интрузивам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Вахрушев, В. А.** Минералогия, геохимия и генетические группы контактово-метасоматических железорудных месторождений Алтасаянской области [Текст] / В. А. Вахрушев. – М. : Наука, 1965. – 235 с.
2. **Маракушев, А. А.** Петрогенезис [Текст] / А. А. Маракушев. – М. : Недра, 1988. – 293 с.
3. **Маракушев, А. А.** Природа и металлогеническая роль глубинных флюидов [Текст] / А. А. Маракушев // Закономерности размещения полезных ископаемых. – М. : Наука, 1985. – С. 211–221.
4. **Платиноносность** ультрабазит-базитовых комплексов юга Сибири [Текст] / В. И. Богнибов, А. П. Кривенко, А. Э. Изох [и др.]. – Новосибирск, 1995. – 151 с.
5. **Поляков, Г. В.** Особенности состава и условия образования габброидных массивов с титаномангнетитовой рудной специализацией [Текст] / Г. В. Поляков, А. П. Кривенко // Геология и генезис железорудных месторождений. – Свердловск : УНЦ АН СССР, 1981. – С. 35–40.
6. **Суханов, М. К.** Редкоземельные элементы в древнейших анортозитах СССР [Текст] / М. К. Суханов, С. М. Ляпунов // Докл. АН СССР. – 1985. – Т. 284, № 5. – С. 1221–1225.



7. **Шокальский, С. П.** Петрохимия Харловского титаноносного интрузива в Горном Алтае [Текст] / С. П. Шокальский // Тр. ИГиГ СО АН СССР. – 1990. – № 776. – С. 110–118.

8. **Шабалин, Л. И.** Харловский габброидный расслоенный массив и типы его руд [Текст] / Л. И. Шабалин // Тр. СНИИГГиМС. – 1976. – Вып. 236. – С. 79–83.

9. **Anders, E.** Abundances of the elements: meteoric and solar [Text] / E. Anders, N. Greevesse // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1989. – Vol. 53. – P. 197–214.

10 **Barbarin, B.** Granitoids: main petrogenetic classifications in relation to origin and tectonic setting [Text] / B. Barbarin // Geol. Journ. – 1990. – Vol. 25. – P. 227–238.

11 **Beard, B. L.** Trace elements and Sr and Nd isotopic composition of mantle xenoliths from the Big

Pine volcanic field, California [Text] / B. L. Beard, A. F. Glazner // Journal of Geophysical Research. – 1995. – Vol. 100. – P. 4169–4179.

12. **Bradshaw, T. K.** The adaptation of Pearce clement ratio diagrams to complex high silica systems [Text] / T. K. Bradshaw // Contrib. Mineral. Petrol. – 1992. – Vol. 109. – P. 450–458.

13. **Irber, W.** The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites [Text] / W. Irber // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1999. – Vol. 63, N 3/4. – P. 489–508.

14. **Masuda, A.** Lanthanide tetrad effect observed in marine environment [Text] / A. Masuda, Y. Ikeuchi // Geochim. J. – 1979. – Vol. 13. – P. 19–22.

15. **Putirka, K.** The tectonic significance of high-K₂O volcanism in the Sierra Nevada, California [Text] / K. Putirka, C. J. Busby // Geology. – 2007. – Vol. 35. – P. 923–926.

© А. И. Гусев, Н. И. Гусев, 2013



иркутское
электроразведочное
предприятие

Россия, Иркутск,
ул. Рабочая, 2а
Бизнес-центр «Премьер»,
6–7-й этаж
Адрес для корреспонденции:
664011, Иркутск, а/я 129,
ЗАО «ИЭРП»
Телефоны:
+7 (3952) 780-183;
780-185
факс: (3952) 780-185
Сайт: www.ierp.ru
E-mail: info@ierp.ru

Электроразведочные работы при решении
разнообразных геологических задач:

- структурные и региональные исследования,
- поиск и разведка месторождений углеводородов,
- прогноз условий бурения скважин,
- рудные, инженерные, геоэкологические задачи,
- мониторинг.

Аппаратура, программное обеспечение.

Консалтинг, разработка методик.

Обработка и интерпретация данных.

