

## ХРОМИСТАЯ ШПИНЕЛЬ ИЗ ДОЛЕРИТОВ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ДАЕК И БАЗАЛЬТОВ ПОЛЕВСКОГО СЕГМЕНТА ТАГИЛЬСКОЙ ЗОНЫ (СРЕДНИЙ УРАЛ): МОРФОЛОГИЯ, СОСТАВ, ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ ВУЛКАНИТОВ

© 2013 г. С. В. Берзин

Комплекс параллельных долеритовых даек, прорывающий подушечные лавы базальтов и андезит-базальтов, образует тектонический блок в западной части Тагильской палеостроводужной зоны на широте города Полевского [4]. С запада блок тектонически граничит с породами Ревдинского габбро-ультрамафитового массива, с востока с вулканидами непрерывно-дифференцируемого комплекса  $S_1ln^{2-3}-w$  [3, 4 и др.]. Контакт с последними, по данным геологической съемки 1973 г под руководством И.И. Зенкова и др., слабо обнажен, осложнен интрузивными телами пироксенитов и диабазов, зонами рассланцевания, и, вероятнее всего, также является тектоническим.

В разные годы данные параллельные дайки изучались разными исследователями. С.Н. Ивановым и соавторами в 1973 г. дайки г. Азов были впервые описаны как реликты рифтовой океанической долины, аналогичной Аравийско-Индийскому СОХ [3]. В последствии дайки были подробно изучены И.В. Семеновым, который так же рассматривал их как продукты океанического спрединга [4 и др.]. К.С. Ивановым и соавторами было показано, что по геохимическим особенностям долериты параллельных даек г. Азов относятся к продуктам задугового спрединга [2]. Возраст параллельных даек определен по акцессорным цирконам из двух проб долеритов из обнажения на г. Азов как позднеживетско-раннефранский [1].

Представительные обнажения параллельных даек, прорывающих подушечные лавы, располагаются на вершине г. Азов и в затопленном карьере, расположенном в 3 км к западу от п. Зюзельский и в 2.5 км к северу от г. Азов. Дайки имеют здесь выдержанное северо-восточное простирание и крутое падение. Они образуют рои и структуры типа “дайка в дайке” [2, 4]. В обнажениях встречены так же единичные дайки кислых вулканидов андезидацитового и дацит-риолитового состава, также относящиеся к толеитовой серии. Эти дайки, как и долеритовые, имеют северо-восточное простирание, крутое падение и тоже заметно метаморфизованы.

Долериты и вмещающие базальты метаморфизованы в условиях ретроградного метаморфизма. В некоторых образцах прослеживаются реликтовые офитовые или порфиоровые структуры. Зерна плагиоклаза замещаются альбитом и соссори-

том, клинопироксен замещен амфиболом, причем в некоторых вкрапленниках наблюдается замещение двумя генерациями амфибола. Среди акцессорных минералов отмечены рутил, магнетит и титанит. В более метаморфизованных разностях реликты первичной структуры практически отсутствуют. Такие породы сложены тонкозернистым агрегатом амфибола, хлорита, клиноцоизита и кварца, иногда с обособлениями пумпеллита, рутил в них практически полностью замещен титанитом.

### МОРФОЛОГИЯ ЗЕРЕН ХРОМИСТОЙ ШПИНЕЛИ

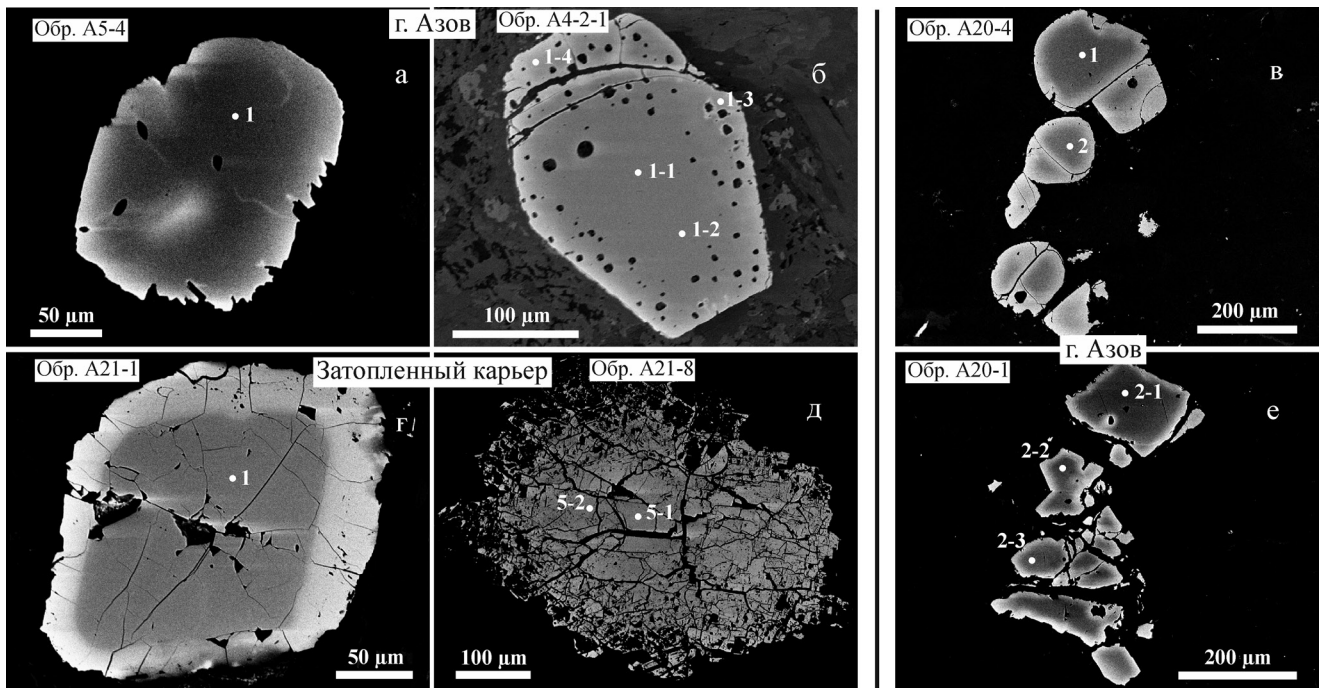
Зерна акцессорной хромистой шпинели установлены в долеритах из обнажений на г. Азов (рис. 1а, б) и в затопленном карьере в 2.5 км к северу (рис. 1г, д), а так же в двух образцах зеленокаменно-измененного межподушечного туфа из вмещающих подушечных лав г. Азов (рис. 1в, е).

В долеритах хромистая шпинель образует идиоморфные зерна, расположенные в пространстве между реликтами зерен плагиоклаза и амфибола. В сильно метаморфизованных долеритах и в образцах туфа из подушечных лав зерна хромистой шпинели окружены тонкозернистым агрегатом метаморфогенных минералов. Хромистая шпинель присутствует как в виде отдельных редких зерен, так и в виде скоплений из 5–10 зерен на участке шлифа размером не более 2–6 мм. Размер зерен хромистой шпинели варьирует от 30 до 500 мкм.

По периферии зерна хромистой шпинели замещаются каймой хромсодержащего магнетита (рис. 1а, г), в более метаморфизованных разностях закономерно ориентированными чешуйками хлорита и магнетитом (рис. 1д) вплоть до полного замещения исходного зерна. Степень метаморфического изменения зерен варьирует как между разными образцами, так и в пределах одного шлифа.

### СОСТАВ ХРОМИСТОЙ ШПИНЕЛИ

По составу зерна хромистой шпинели из базальтов и долеритов близки между собой и на графиках (рис. 3) образуют перекрывающиеся поля составов. По составу хромистая шпинель соответствует хромиту, хромпикотиту и шпинели. В цен-



**Рис. 1.** Типичные зерна аксессуарной хромистой шпинели из долеритов комплекса параллельных даек и подушечных лав Полевского сегмента Тагильской зоны, снимок в отраженных электронах.

а–г – из долеритов комплекса параллельных даек; а–б – г. Азов, в–г – затопленный карьер в 2.5 км к северу от г. Азов; д–е – из подушечных лав г. Азов. Белыми кружками отмечены точки микрозондовых анализов. Номера анализов соответствуют номерам, приведенным в табл. 1.

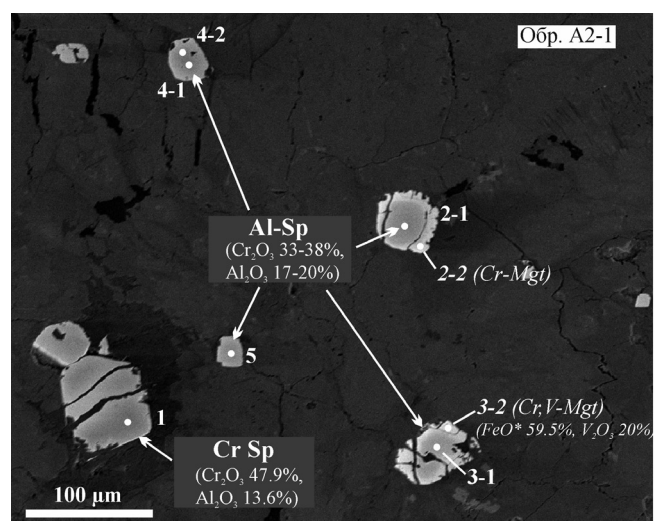
тральных частях зерен содержание  $Cr_2O_3$  варьирует от 33 до 56%,  $Cr/(Cr + Al + Fe^{3+}) - 0.51-0.76$ ,  $Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Mg) - 0.34-0.99$ . В некоторых зернах установлены примеси  $MnO$  до 2.1% и  $ZnO$  до 5%. В хроммагнетитовых каймах отмечены примеси  $TiO_2$  до 2.7% и  $V_2O_5$  до 20%.

Так же стоит отметить, что в некоторых образцах долеритов одновременно присутствуют зерна и относительно высокохромистой, и относительно глиноземистой хромистой шпинели, расположенные в непосредственной близости друг от друга и не выказывающие различия в морфологии (рис. 2).

### СОПОСТАВЛЕНИЕ С ХРОМИСТЫМИ ШПИНЕЛЯМИ ИЗ БАЗАЛЬТОВ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК

Хромистые шпинели встречаются по всему миру в базальтах толеитовой, известково-щелочной и щелочной серий, образовавшихся в различных геодинамических обстановках, а так же в кимберлитах и лампроитах [5–8 и др.].

На тройной диаграмме  $Al-Cr-Fe^{3+}$  (рис. 3в) анализы центральных частей зерен хромистой шпинели попадают в перекрывающиеся поля составов толеитов зон растяжения (БСОХ + БЗС) и бонинитов, но наиболее полно перекрываются полем составов островодужных толеитов по [5]. Точки хроммагнетитовых кайм преимущественно располага-



**Рис. 2.** Скопление зерен высокохромистой (Cr-Sp) и высокоглиноземистой (Al-Sp) хромистой шпинели в шлифе долерита (A2-1) из комплекса параллельных даек г. Азов, снимок в отраженных электронах.

Cr-Mgt и Cr,V-Mgt – магнетитовая кайма с повышенным содержанием хрома и ванадия. Белыми кружками показаны точки микрозондовых анализов, номера анализов соответствуют номерам, приведенным в табл. 1.

ются вдоль единой линии тренда, направленного от хромита и хромистой шпинели к магнетиту. На ди-

**Таблица 1.** Составы хромистых шпинелей из долеритов параллельных даек и базальтов Полевского сегмента Тагильской зоны

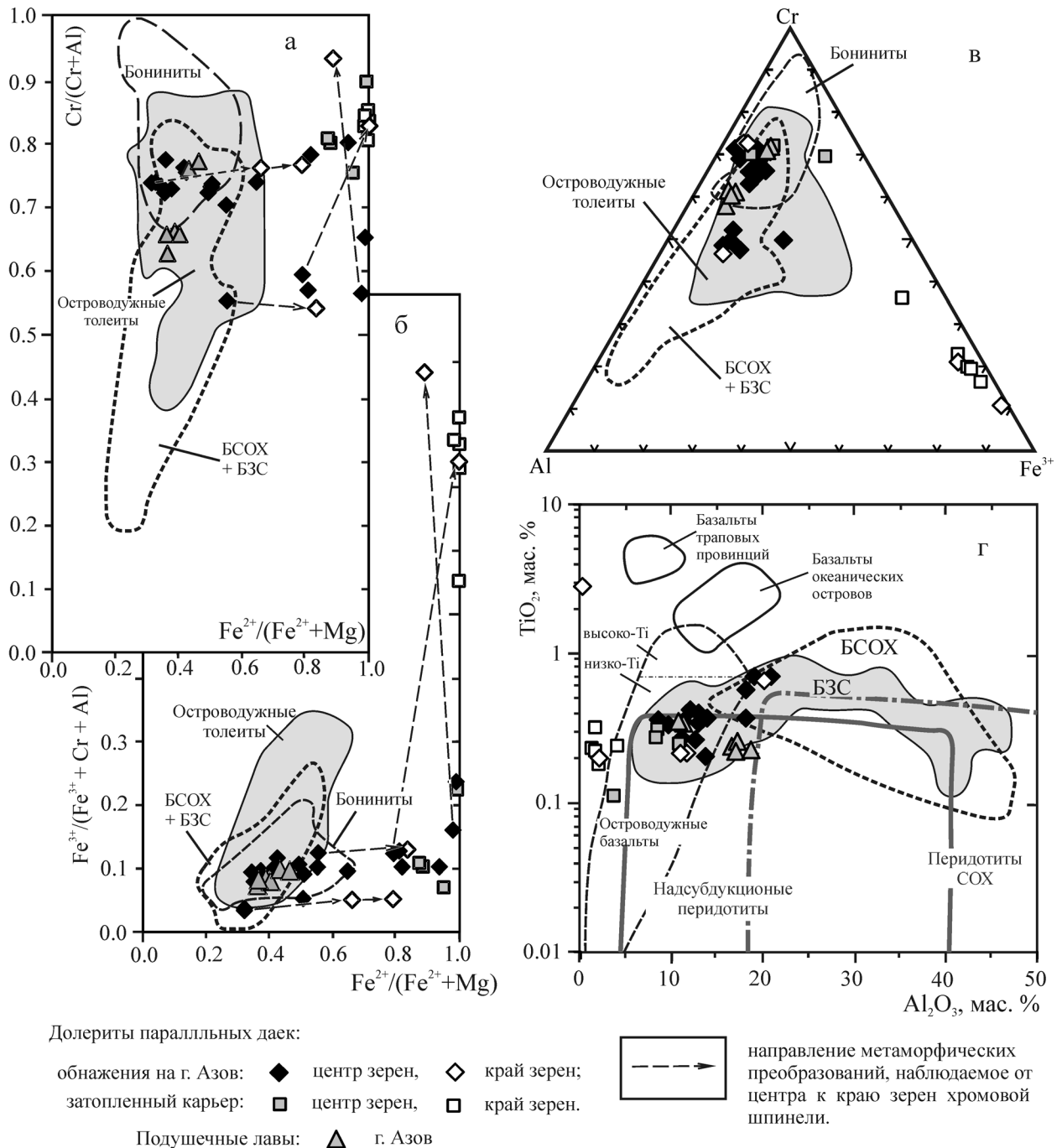
Образец	точка	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	NiO	ZnO	Сумма
<b>Долериты комплекса параллельных даек</b>													
г. Азов													
106	1	0	0.41	13.32	51.34	0.19	19.90	0.11	13.27	0	0.13	0.03	98.70
	2	0	0.45	11.15	50.59	0.16	23.59	0.11	11.63	0.01	0.08	0.02	97.79
	3	0	1.04	12.12	33.66	0.54	40.68	2.08	0.16	0.02	0.03	5.00	95.33
109/3	1	0	0.25	13.29	53.64		22.26	0.36	10.09	0.03			99.92
A5-2	1	0.07	0.33	13.07	51.68	0.07	20.86	0.20	13.00	0	0.25	0.03	99.56
	2	0.04	0.34	13.00	52.43	0.07	19.81	0.19	13.74	0.01	0.13	0.03	99.79
A5-4	1	0.08	0.35	11.30	53.37	0.03	22.80	0.20	12.02	0.01	0.12	0.08	100.36
	2-1	0.09	0.40	12.92	49.97	0.04	25.60	0.27	10.35	0.03	0.11	0.10	99.88
	2-2	0.07	0.33	9.47	50.13	0.04	33.65	1.00	3.34	0.07	0.06	0.24	98.40
	3	0.07	0.27	12.67	51.56	0.11	25.11	0.26	10.01	0.02	0.09	0.16	100.33
A5-6	1	0.09	0.42	11.99	50.17	0.04	29.00	0.95	6.84	0.05	0.2	0.23	99.98
A-7-1	1	0.04	0.27	11.00	55.61	0.07	19.02	0.16	13.21	0.01	0.12	0.09	99.60
A2-1	1	0	0.37	13.67	47.85		26.89	0.47	8.97	0.01			98.23
	2-1	0	0.69	18.75	36.73		36.50	1.17	3.66	0.10			97.60
	2-2 кр.	0.03	0.19	1.97	13.96		74.05	1.08	0.03	0.30			91.61
	3-1	0	0.55	17.20	32.99		40.93	2.15	0.37	0.13			94.32
	3-2 кр.		2.68	0.23	4.65	20.44	59.42	1.50	1.80	0.24	0.02	0.03	91.01
	4-1	0	0.69	20.46	37.49		29.20	0.62	9.11	0.18			97.75
	4-2 кр.	0	0.63	19.77	34.54		36.97	1.42	3.11	0.25			96.69
	5	0	0.36	17.63	38.16		34.98	1.44	3.91	0.30			96.78
A4-2-1	1-1	0	0.20	13.25	55.13		14.52	0.10	13.99	0.02			97.21
	1-2	0	0.20	13.29	55.27		14.28	0.15	14.05	0			97.24
	1-3 кр.	0	0.21	11.30	53.21		26.18	0.61	6.54	0.09			98.14
	1-4 кр.	0	0.21	10.78	52.18		29.64	1.01	3.90	0.08			97.80
A4-2-2	1	0.05	0.36	8.52	50.63	0.18	36.04	1.70	1.13	0.14	0.02	0.68	99.45
<b>Затопленный карьер</b>													
A21-1	1	0.03	0.25	11.02	49.85	0.13	35.02	1.16	0.91	0.01	0.06	0.83	99.27
A21-8	1-1	0.04	0.31	8.52	50.62	0.09	34.64	1.12	2.19	0	0	1.18	98.71
	1-2	0.03	0.27	8.36	51.69	0.07	35.05	1.12	2.28	0	0.05	1.16	100.08
	1-3 кр.	0.03	0.11	3.74	47.63	0.18	41.81	3.78	0.11	0.01	0	1.38	98.78
	2 м	0.19	0.23	1.29	10.90	0.66	81.01	1.03	0.04	0.03	0	0.6	95.98
	3 м	0.02	0.24	4.00	24.34	0.31	63.12	2.36	0.05	0.01	0.03	1.81	96.29
	4 м	0.03	0.18	2.09	15.05	0.38	75.94	1.46	0.01	0.04	0.05	0.98	96.21
	5-1 м	0.05	0.22	1.75	13.02	0.63	77.82	1.32	0.03	0.02	0.14	0.86	95.86
	5-2 м	0.06	0.32	1.62	12.85	0.67	77.70	1.30	0.21	0.06	0.08	0.75	95.62
<b>Подушечные лавы, г. Азов</b>													
A20-1	1	0.12	0.24	16.76	48.49	0.12	20.95	0.21	12.91	0.02	0.14	0.16	100.12
	2-1	0.09	0.26	17.39	49.31	0.07	19.40	0.22	13.58	0.02	0.25	0.11	100.70
	2-2	0.11	0.22	17.02	48.23	0.11	21.16	0.20	12.59	0.01	0.08	0.10	99.83
	2-3	0.16	0.23	18.72	46.57	0.06	20.22	0.23	13.55	0.03	0.09	0.15	100.01
A20-4	1	0.05	0.34	11.26	52.66	0.09	22.79	0.22	11.49	0	0.18	0.13	99.21
	2	0.07	0.35	10.72	53.43	0.09	23.69	0.21	10.85	0.01	0.12	0.12	99.66

Примечание: все анализы выполнены на электронно-зондовом микроанализаторе Самеса SX-100 в Центре коллективного пользования "Геоаналитик", ИГГ УрО РАН, аналитики Д.А. Замятин и В.В. Хиллер кр. – краевые части зерен, м – сильно метаморфизованные зерна.

аграммах Cr/(Cr + Al) – Fe<sup>2+</sup>/(Fe<sup>2+</sup> + Mg) (рис. 3а) и Fe<sup>3+</sup>/(Fe<sup>3+</sup> + Cr + Al) – Fe<sup>2+</sup>/(Fe<sup>2+</sup> + Mg) (рис. 3б) большая часть точек из центральных частей зерен попадает в поле составов островодужных толеитов, частично перекрывающееся с полями БСОХ + БЗС и бонинитов по [5]. Однако часть точек вместе с составами из краевых частей зерен отклоняются от этих полей в сторону увеличения отношения Fe<sup>2+</sup>/(Fe<sup>2+</sup> + Mg). На дискриминационной диа-

грамме TiO<sub>2</sub>–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (рис. 3г) точки анализов хромистой шпинели полностью попадают в поле составов задугово-спрединговых базальтов, частично перекрывающегося с полями составов БСОХ, низкотитанистых островодужных толеитов и надсубдукционных перидотитов по [6].

Отклонение составов хромистой шпинели на графиках (рис 3а, б) от типичных составов для толеитов по [5] в сторону увеличения отношения



**Рис. 3.** Состав хромистых шпинелей из параллельных даек и подушечных лав Полевского сегмента Тагильской зоны, вынесенные на диаграммы:

а –  $Cr/(Cr + Al)$  к  $Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Mg)$  и  $Fe^{3+}/(Fe^{3+} + Cr + Al)$  к  $Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Mg)$  с полями составов для хромистой шпинели из толеитов различных геодинамических обстановок по [5]; б –  $Al-Cr-Fe^{3+}$  с полями составов для хромистой шпинели из толеитов различных геодинамических обстановок по [5]; в –  $TiO_2-Al_2O_3$  с полями составов для хромистой шпинели из вулканитов различных геодинамических обстановок, а так же для перидотитов из зон COX и надсубдукционных перидотитов по [6].

$Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$ , вероятнее всего, связано с постмагматическими или метаморфическими преобразованиями. Об этом свидетельствуют приуроченность “отклоняющихся” точек составов к трендам метаморфических изменений от центра к краю зерен (стрелки на рис 3а, б), при которых сначала проис-

ходит увеличение содержание  $Fe^{2+}$  в позиции M1, при практически неизменном соотношении трехвалентных катионов, а затем преобразование в хромсодержащий магнетит. Т.е. составы хромистых шпинелей, “отклоняющиеся” от нормальных для толеитов, вероятнее всего являются промежуточ-

ными между первично-магматическим хромитом и хроммагнетитовой каймой.

Таким образом, можно сделать вывод, что составы хромистых шпинелей из комплекса параллельных даек и вмещающих подушечных лав западной части Полевского сегмента Тагильской зоны типичны для вулканитов, образовавшихся в надсубдукционной обстановке в процессе задугового спрединга.

*Исследования выполняются при поддержке проектов УрО РАН 12-5-021-НДР и 12-П-5-1017 “Структурно-вещественная эволюция и металлогения базит-ультрабазитовых комплексов...” Программы 27 Президиума РАН.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов К.С., Берзин С.В., Ерохин Ю.В. Первые данные об U-Pb возрасте цирконов из реликтовых зон спрединга на Среднем Урале // Докл. АН. 2012. Т. 443, № 1, С. 78–83.
2. Иванов К.С., Ерохин Ю.В., Смирнов В.Н., Слободчиков Е.А. Рифтогенез на Среднем Урале (комплексы и структуры растяжения в истории развития Среднего Урала). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. 91 с.
3. Иванов С.Н., Кориневский В.Г., Белянина Г.П. Реликты рифтовой океанической долины на Урале // Докл. АН СССР. 1973. Т. 211, № 4. С. 939–942.
4. Семенов И.В. Палеоокеанический спрединговый вулканизм Урала и реконструкция параметров Уральского палеозойского океана. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 362 с.
5. Barnes S.J., Roeder P.L. The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks // J. Petrol. 2001. V. 42. P. 2279–2302.
6. Kamenetsky V.S., Crawford A.J., Meffre S. Factors controlling chemistry of magmatic spinel: an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks // J. Petrol. 2001. V. 42. P. 655–671.
7. Roeder P.L. Chromite: from the fiery rain of chondrules to the Kilauea Iki lava lake // Canadian Mineralogist. 1994. V. 32. P. 729–746.
8. Roeder P. L., Poustovetov A., Oskarsson N. Growth forms and composition of chromian spinel in MORB magma: diffusion-controlled crystallization of chromian spinel // Canadian Mineralogist. 2001. V. 39. P. 397–416.