

ОФИОЛИТЫ МАРИИНСКОГО КОМПЛЕКСА В ВОСТОЧНОМ И ЗАПАДНОМ ОБРАМЛЕНИЯХ РЕВДИНСКОГО МАССИВА

© 2016 г. С. В. Берзин

*Институт геологии и геохимии УрО РАН
6500016, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15
E-mail: sbersin@yandex.ru*

Поступила в редакцию 17.06.2015 г.

Принята к печати 10.09.2015 г.

Проведено сопоставление фрагментов офиолитов, относимых к мариинскому комплексу, в восточном и западном обрамлениях Ревдинского массива. В восточном обрамлении породы комплекса представлены сформировавшимися в обстановке задугового спрединга параллельными долеритовыми дайками, прорывающими подушечные лавы базальтов. Данный вывод подтверждается также при изучении составов аксессуарных хромовых шпинелей. Показаны незначительные геохимические отличия долеритов параллельных даек от вмещающих базальтов. В пакетах параллельных даек изучены кислые дайки дацит-андезитового состава. В западном обрамлении Ревдинского массива породы мариинского комплекса представлены амфиболитами и зелеными сланцами, образовавшимися в результате метаморфизма основных пород верхней части офиолитового разреза. В амфиболитах горы Лысой установлены реликтовые пластообразные тела катаклазированных метагаббро, отличающихся от вмещающих амфиболитов по ряду геохимических характеристик. Амфиболиты западного обрамления Ревдинского массива занимают промежуточное положение между океаническими и задугово-спрединговыми базальтами и отличаются от пород восточного обрамления по ряду геохимических характеристик (повышенные содержания TiO_2 , отсутствие ярко выраженного Ta-Nb минимума и др.), что указывает на их формирование в различных геодинамических обстановках и, скорее всего, в разное время.

Ключевые слова: *мариинский комплекс, офиолиты, параллельные долеритовые дайки, базальты, хромовая шпинель.*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в мариинский комплекс выделяются в различной степени метаморфизованные базальты, туфы, долериты и габбро офиолитовой ассоциации, а также развивающиеся по ним зеленые сланцы, амфиболиты и роговики, прослеживаемые в обрамлении (как восточном, так и западном) массивов Платиноносного пояса Урала [4, 14 и др.]. Как правило, с массивами Платиноносного пояса породы мариинского комплекса имеют тектонические контакты, однако отмечено их нахождение и в структуре ранее выделенных платиноносных массивов [2, 3, 16 и др.]. С запада породы мариинского комплекса отделены тектоническим разломом от пород вийской свиты и от Салатимской зоны в целом. С востока блоки пород мариинского комплекса имеют тектонические контакты с вулканогенно-осадочными комплексами Тагильской зоны, в основном с породами кабанской свиты [4]. Традиционно породы мариинского комплекса рассматриваются как офиолитовое основание Тагильской островной дуги [4, 11 и др.]. При этом их возраст ранее условно принимался за позднеордовикский [4] или средне-позднеордовикский

[14 и др.]. Однако позднее для мариинского комплекса из восточного обрамления Ревдинского массива нами были получены средне-позднедевонские U-Pb (SHRIMP-II) возраста цирконов из долеритов параллельных даек горы Азов, что указывает на их образование на завершающем этапе формирования Тагильской островной дуги [5, 6].

В данной работе проведено изучение и сопоставление пород мариинского комплекса в восточном и западном обрамлениях Ревдинского массива – самого южного в цепочке массивов Платиноносного пояса Урала. В восточном обрамлении массива породы мариинского комплекса находятся в виде блоков, тектонически граничащих на западе с Ревдинским массивом, а на востоке – с вулканогенно-осадочными комплексами Тагильской зоны [6, 8, 16 и др.]. В западном обрамлении массива породы мариинского комплекса, рассматривавшиеся ранее как породы мариинской свиты и представленные зелеными сланцами и амфиболитами, протянулись вдоль всей западной границы Ревдинского массива [13]. На западе породы комплекса тектонически граничат с породами вийской свиты, находящимися в данном широтном сегменте в зоне главного надвига, а на вос-

токе имеют тектонический контакт с Ревдинским массивом [13 и др.].

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ОБРАЗЦОВ

Материалом для изучения послужили образцы, отобранные автором из обнажений мариинского комплекса. Изучение состава минералов и съемка в отраженных электронах производились на электронно-зондовом микроанализаторе Cameca SX-100 в ЦКП УрО РАН "Геоаналитик", аналитики Д.А. Замятин и В.В. Хиллер. Содержание главных породообразующих окислов определялось методом рентгено-флуоресцентного анализа на приборах CPM-18 и XRF-1800 там же, аналитики Н.П. Горбунова, Л.А. Татарина, Т.М. Ятлук, В.П. Власов, Г.С. Неупокоева. Микроэлементный состав проб определялся методом ICP-MS на приборе ELAN-9000 там же, аналитики Н.Н. Адамович, Д.В. Киселева.

ПОРОДЫ ВОСТОЧНОГО ОБРАМЛЕНИЯ РЕВДИНСКОГО МАССИВА

В восточном обрамлении Ревдинского массива изучены тектонические блоки офиолитов мариинского комплекса, сложенные преимущественно породами верхней части офиолитового разреза (комплекс параллельных даек и базальты). Наиболее представительные обнажения исследуемых офиолитов расположены на горе Азов ($56^{\circ}28'29.9''$ с. ш., $60^{\circ}05'7.4''$ в. д.) и в карьере, в 2.5 км к северу от нее, ($56^{\circ}29'36.9''$ с. ш., $60^{\circ}05'54.1''$ в. д.) в районе г. Полевской Свердловской области.

Обнажения на горе Азов ранее изучались многими исследователями [6, 8, 10, 16, и др.]. Впервые данные обнажения были описаны как реликты рифтовой океанической долины С.Н. Ивановым и соавторами [10]. Позднее К.С. Иванов с коллегами [8, 9] обосновали их задугово-спрединговое происхождение. В дальнейшем, как отмечалось выше, по результатам U-Pb (SHRIMP II) датирования акцессорных зерен цирконов нами был установлен позднелавово-раннефранский возраст (382–387 млн лет) комплекса параллельных долеритовых даек горы Азов [5, 6].

На вершине горы Азов и в затопленном карьере обнажается комплекс параллельных долеритовых даек со скринами подушечных лав и измененных гиадокластитов. Дайки имеют северо-восточное простирание и крутое падение. Их мощность варьирует от 0.5 до 2–3 м. Они образуют рои и структуры типа "дайка в дайке" (рис. 1а). Долериты имеют массивную текстуру, скрытокристаллическую, порфировую или мелкозернистую офитовую структуру. В пакетах параллельных даек встречены единичные кислые дайки дацит-андезитового и дацитового состава, имеющие одинаковое северо-вос-

точное простирание с дайками основного состава (см. рис. 1в). Подушечные лавы в скринах имеют скрытокристаллическую или мелкопорфировую структуру. Размер подушек варьирует от 30 см до 1 м. Между подушками иногда наблюдаются светло-серые гиадокластитовые прослои мощностью 3–12 см. В центральных частях подушек встречены небольшие округлые миндалины размером до 1–1.5 см, выполненные эпидотом, пумпеллитом и альбитом.

Долериты и вмещающие базальты метаморфизованы в условиях низов амфиболитовой и зеленосланцевой фаций. В некоторых образцах сохранилась реликтовая офитовая или мелкопорфировая структура (см. рис. 1б) с реликтовыми зернами плагиоклаза, замещенного альбитом и соссюритом, и клинопироксена, замещенного амфиболом (табл. 1, ан. 1–5). Более метаморфизованные разновидности сложены тремолит-клиноцоизит-клинохлор-кварцевым тонкозернистым агрегатом с редкими зернами пумпеллиита и титанита. Наиболее сильному изменению подверглись межподушечные гиадокластиты. В них, как правило, отсутствуют реликты исходной структуры, и они полностью замещены эпидотом, кварцем, и в меньшей степени хлоритом.

Из числа первичных магматических минералов в долеритах были найдены единичные зерна клинопироксена в тяжелой немагнитной фракции протоочки крупнообъемной пробы 106/4 вместе с зернами цирконов. Клинопироксен имеет выдержанный химический состав (см. табл. 1, ан. 1–3) и соответствует диопсиду. Амфибол в долеритах по составу отвечает тремолиту – магнезиальной роговой обманке (см. табл. 1, ан. 4–10). Из числа акцессорных минералов в породах установлены магнетит, апатит, циркон, рутил, повсеместно замещаемый титанитом, кронстедтит и хромовая шпинель. Дациито-андезит из светлой дайки тоже заметно метаморфизован (см. рис. 1г). Он сложен кварцем, альбитом, клиноцоизитом, в нем отмечены амфибол и титанит.

В долеритах и вмещающих базальтах наблюдаются тонкие гидротермальные кварцевые и кварц-карбонатные прожилки, содержащие пирит, халькопирит, эпидот, хлорит и гипергенные минералы (малахит, азурит), а также метасоматические прожилки мощностью от 5 мм до 20–30 см, окрашенные в светло-зеленый цвет, сложенные эпидотом, альбитом и кварцем. Помимо прожилков в вулканитах встречаются округлые светло-зеленые овоиды эпидот-кварцевого состава (рис. 2). Их размер варьирует от нескольких миллиметров до 7–15 см. Овоиды, как правило, сконцентрированы вдоль линейных зон шириной от нескольких десятков сантиметров до 1–1.5 м. Их доля в породе не превышает 10–15%. Границы овоидов обычно промаркированы мелкозернистым кварцем или эпидотом. В их

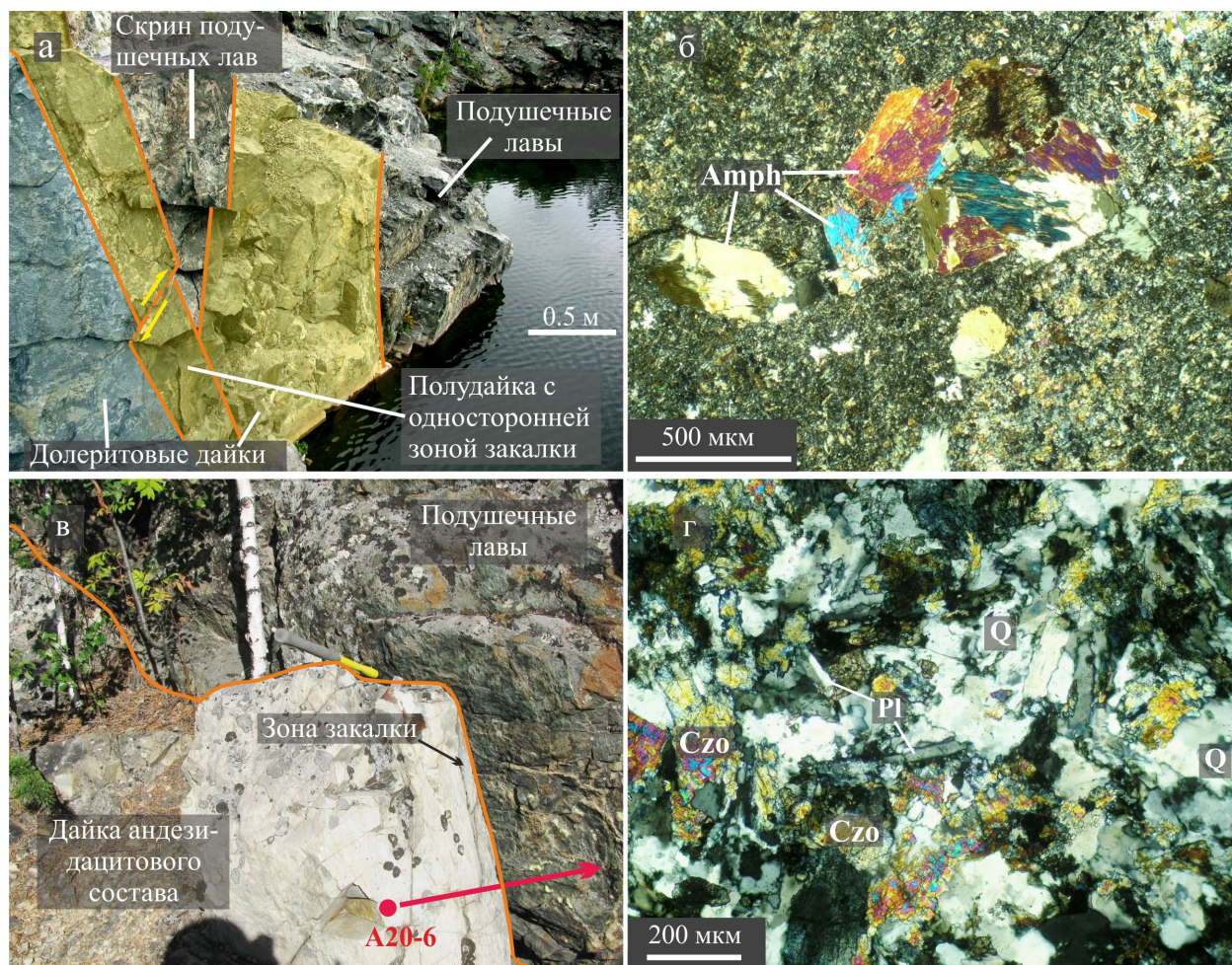


Рис. 1. Офиолиты восточного обрамления Ревдинского массива.

а – комплекс параллельных долеритовых даек, пересекающий подушечные лавы базальтов; обнажение в затопленном карьере в 2.5 км к северу от горы Азов ($56^{\circ}29'36.9''$ с.ш., $60^{\circ}05'54.1''$ в.д.); б – долеритовый порфирит (обр. А21-2) с вкрапленниками амфибола из данного обнажения; в – дайка андезит-дацитового состава в пакете параллельных долеритовых даек на вершине горы Азов; г – строение дацит-андезита из дайки (обр. А20-6); б, г – проходящий свет с анализатором.

Fig. 1. Ophiolites of eastern frame of the Revdinsky Massif.

а – sheeted dikes complex, intruding pillow basalts; the outcrop at the flooded quarry at 2.5 km north of Mt. Azov (N $56^{\circ}29'36.9''$, E $60^{\circ}05'54.1''$); б – dolerite porphyrite (sample A21-2) with phenocrysts of amphibole from that outcrop; в – andesite-dacite dike in sheeted dikes complex on the top of Mt. Azov; г – the structure of dacite-andesite dike (sample A20-6); б, г – transmitted light with an analyzer.

составе помимо этих минералов также присутствует альбит, местами замещаемый соссюритом, и редкие выделения роговой обманки.

ПОРОДЫ ЗАПАДНОГО ОБРАМЛЕНИЯ МАССИВА

В западном обрамлении Ревдинского массива породы мариинского комплекса представлены рассланцованными амфиболитами и зелеными сланцами. В некоторых обнажениях комплекса описаны реликты параллельных долеритовых даек [13, 16 и др.]. Породы мариинского комплекса изуче-

ны в обнажениях на горе Токариха, вдоль р. Ревда ниже Мариинского водохранилища, на горе Лысая (в черте г. Ревда, $56^{\circ}47'34.9''$ с.ш., $59^{\circ}56'05.2''$ в.д.), на высоте с абсолютной отметкой 395.4 м (в 500 м к юго-востоку от горы Лысая, $56^{\circ}47'21.5''$ с.ш., $59^{\circ}56'28.6''$ в.д.) и в карьере, находящемся в 2 км к северу от пос. Мариинск ($56^{\circ}37'56.7''$ с.ш., $59^{\circ}51'30.7''$ в.д.).

В большинстве обнажений породы комплекса представлены мелко-среднезернистыми зеленовато-серыми амфиболитами, имеющими полосчатую текстуру с выдержанным азимутом падения $90\text{--}110^{\circ}$ и углом падения $45\text{--}60^{\circ}$. Амфиболиты

Таблица 1. Состав клинопироксена и амфибола из амфиболитов Мариинского комплекса в восточном обрамлении Ревдинского массива, мас. %**Table 1.** Chemical composition of clinopyroxene and amphibole of amphibolites of Mariinsky suite at eastern frame of the Revdinsky Massif, wt %

Минерал	Клинопироксен			Амфибол						
Номер образца	106/4			107/1	109/3		A21-2		A25-1	
Номер анализа	1	2	3	4	5-ц	6-к	7-ц	8-к	9	10
SiO ₂	49.29	49.84	50.65	51.71	56.69	50.84	51.66	52.16	53.48	53.62
TiO ₂	1.43	1.29	0.69	0.13	0.02	0.07	0.34	0.36	0.23	0.11
Al ₂ O ₃	5.22	5.06	4.33	3.66	0.73	5.56	3.75	3.48	1.60	1.49
Cr ₂ O ₃	0.09	0.12	0.18	0.01	0.26	0.67	0.26	0.25	0.00	0.03
FeO*	7.60	7.46	7.10	12.65	7.19	11.76	11.31	11.33	8.95	10.84
MnO	0.17	0.14	0.15	0.21	0.20	0.20	0.24	0.21	0.40	0.08
MgO	12.34	12.92	13.42	14.81	18.98	15.07	16.33	16.22	18.61	16.57
CaO	22.08	22.21	22.54	12.48	13.37	12.42	12.44	12.42	11.33	12.55
Na ₂ O	0.69	0.64	0.57	0.61	0.11	0.94	0.59	0.70	0.62	0.34
K ₂ O	0.00	0.01	0.02	0.07	0.01	0.1	0.10	0.14	0.08	0.06
Сумма	98.89	99.69	99.63	96.34	97.56	97.63	97.02	97.27	95.30	95.69
Мин. вид по [23]				Тремолит		Магнезиальная роговая обманка			Тремолит	
T, °C, по [25]				562	548	554	589	592	575	560

Примечание. Здесь и далее: ц – центральная часть зерна, к – краевая часть, FeO* – сумма двух- и трехвалентного железа, пересчитанного на двухвалентное железо. Образцы 106/4, 107/1, 109/3 – долериты параллельных даек горы Азов; A21-2 – долерит из параллельных даек в затопленном карьере, в 2.5 км к северу от горы Азов; A25-1 – метадолерит из старого карьера, в 3 км севернее горы Азов.

Note. Here and after: ц – core of grain, к – margin of grain, FeO* – the sum of ferrous and ferric iron, recalculated in ferrous iron. Samples 106/4, 107/1, 109/3 – dolerite of sheeted dikes Mt. Azov; A21-2 – dolerite of sheeted dikes of flooded quarry at 2.5 km north of Mt. Azov; A25-1 – metamorphose dolerite of old quarry 3 km north of Mt. Azov.

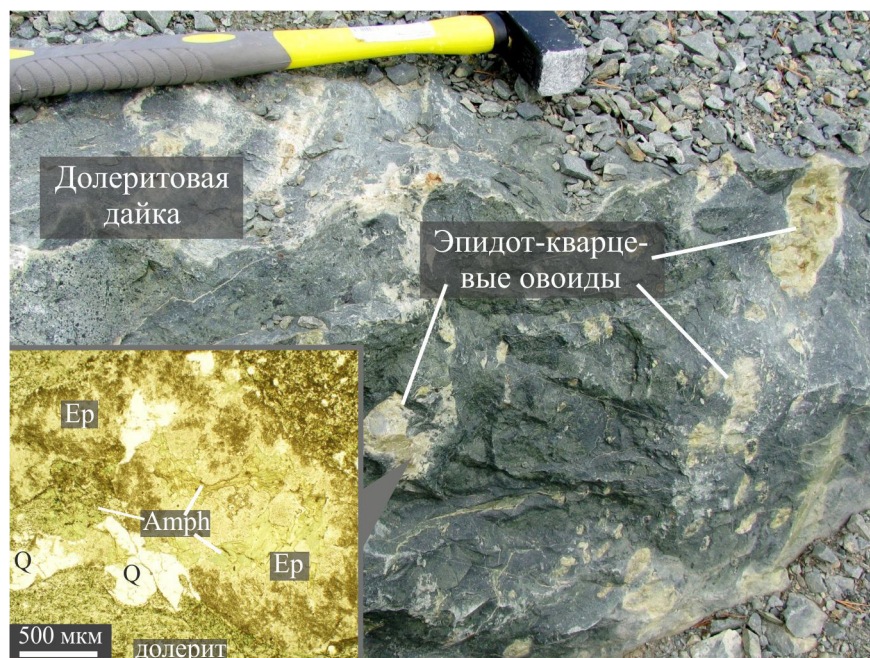


Рис. 2. Эпидот-кварцевые овоиды в гидротермально измененном долерите в затопленном карьере в 2.5 км к северу от горы Азов.

Микрофото – проходящий свет без анализатора.

Fig. 2. Epidote-quartz ovoids in the hydrothermal altered dolerite at the flooded quarry 2.5 km north of Mt. Azov.

Photomicrography – transmitted light without analyzer.

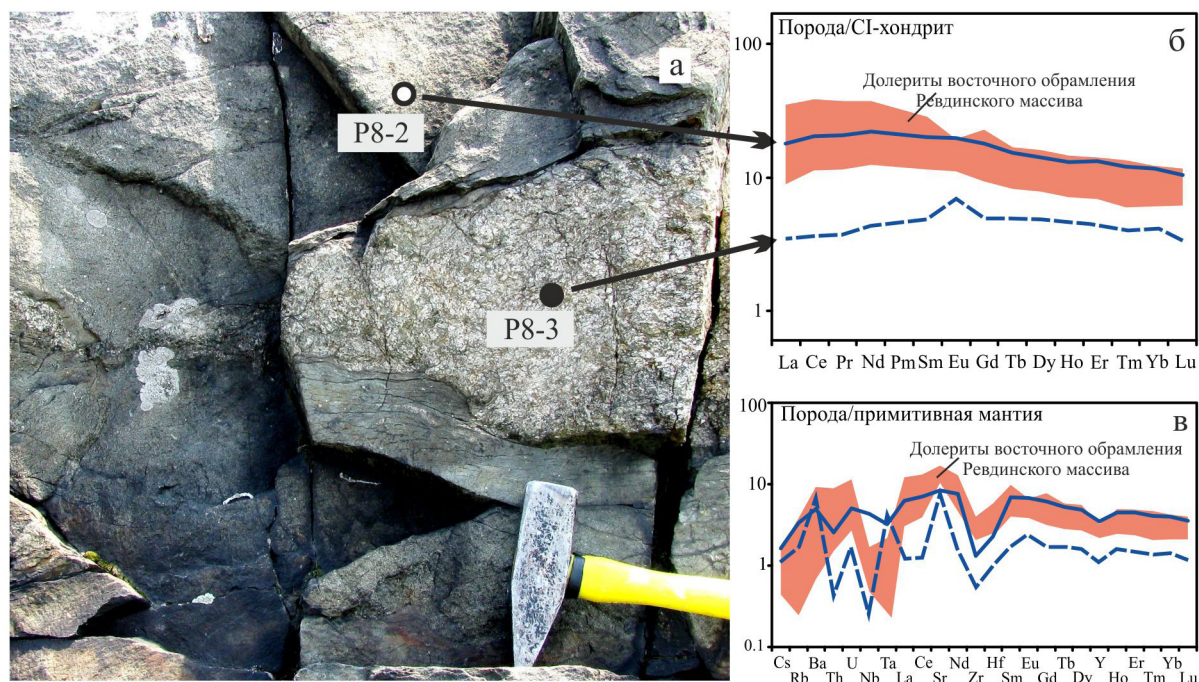


Рис. 3. Будина метагаббро в окружении тонкозернистых рассланцованных амфиболитов в привершинной части горы Лысая, территория г. Ревда ($56^{\circ}47'31.7''$ с.ш., $59^{\circ}56'17.3''$ в.д.).

а – вид обнажения, б – спайдер-диаграмма распределения РЗЭ, в – мультиэлементная диаграмма. Составы CI-хондрита и примитивной мантии по [26]. Номера проб соответствуют таковым в табл. 5 и 6.

Fig. 3. Metagabbro boudin in arround of fine-grained schistose amphibolites on the top of Mt. Lysaya, territory of Revda town ($N 56^{\circ}47'31.7''$, $E 59^{\circ}56'17.3''$).

а – outcrops view, б – spider-diagram REE, в – spider-diagram of rare element. Composition of CI-chondrite and Primitive mantle by [26].

сложены магнезиальной роговой обманкой, полностью сосюритизированным плагиоклазом, в меньшей степени хлоритом и эпидотом. Из акцессорных минералов встречены магнетит, титанит и хромовая шпинель. В карьере возле пос. Маринск обнажаются зеленые сланцы, сложенные альбитом, кварцем, эпидотом, хлоритом и актинолитом. На высоте 395.4 м и на горе Токариха амфиболиты пересекаются единичными дайками метадолеритов мощностью до 1 м, имеющими реликтовую мелкозернистую офитовую структуру и состоящими из амфиболизированного клинопироксена и сосюритизированного плагиоклаза. В обнажениях на горе Лысая среди полосчатых тонкозернистых амфиболитов встречены будины и пластообразные тела крупнозернистых катаклазированных амфиболитов (рис. 3а) с реликтами обломочных зерен клинопироксена, замещенного амфиболом и плагиоклазом, замещенного сосюритом. По всей видимости, данные пластообразные тела образовались в результате динамометаморфизма габбро офиолитового разреза [3].

Амфибол в породах по составу соответствует магнезиальной роговой обманке и тремолиту

(табл. 2). Температура метаморфизма амфиболитов, оцененная по амфиболовому термометру [25], составляет $550\text{--}650^{\circ}\text{C}$, что соответствует низам амфиболитовой фаций метаморфизма.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД

В восточном обрамлении Ревдинского массива долериты параллельных даек и вмещающие подушечные лавы представлены низкокалиевыми базальтами и андезибазальтами нормальной щелочности (табл. 3) с пониженными относительно MORB содержаниями TiO_2 (0.5–1.0%) и умеренной железистостью ($f = 0.29\text{--}0.54$). Как упоминалось выше, в пакетах параллельных даек присутствуют дайки дацито-андезитового и дацитового состава ($\text{SiO}_2 - 62\text{--}70\%$), также относящиеся к низкокалиевой толеитовой серии. На диаграмме AFM [22] долериты параллельных даек и вмещающие базальты попадают на границу известково-щелочных базальтов и толеитов (рис. 4а).

Долериты параллельных даек и вмещающие подушечные лавы характеризуются пологими спектрами распределения РЗЭ. В пробе из дайки

Таблица 2. Состав амфибола из амфиболитов мариинского комплекса в западном обрамлении Ревдинского массива, мас. %**Table 2.** Chemical composition of amphibole from amphibolites of Mariinsky suite at western frame of the Revdinsky Massif, wt %

Номер образца	P7-2		P8-1		P10-2		P11-1		P12-1		P17-1	
Номер анализа	1	2	3	4	5-ц	6-к	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	45.02	47.48	46.81	46.16	50.47	52.36	50.47	44.65	49.45	44.86	45.00	54.66
TiO ₂	0.22	0.38	0.40	0.56	0.26	0.13	0.26	0.54	0.49	0.71	0.37	0.04
Al ₂ O ₃	13.61	11.89	9.78	9.95	6.34	4.38	8.00	12.13	7.68	11.91	13.14	2.47
Cr ₂ O ₃	0.01	0.04	0.43	0.13	0.01	0.06	0.05	0.00	0.03	0.15	0.00	0.08
FeO*	9.86	8.18	14.41	15.16	8.86	8.09	13.06	15.58	12.05	14.13	13.08	9.35
MnO	0.21	0.21	0.34	0.22	0.21	0.19	0.24	0.28	0.28	0.29	0.23	0.15
MgO	13.76	14.75	11.55	11.36	16.53	17.75	12.53	10.43	14.06	11.49	11.30	17.44
CaO	12.50	12.43	12.15	12.05	12.43	12.53	11.50	11.83	12.22	11.87	11.81	12.98
Na ₂ O	1.75	1.37	1.28	1.40	1.07	0.88	1.06	1.64	0.96	1.51	1.95	0.43
K ₂ O	0.05	0.06	0.07	0.07	0.07	0.05	0.18	0.35	0.16	0.32	0.13	0.03
Сумма	96.99	96.79	97.22	97.06	96.25	96.42	97.35	97.43	97.38	97.24	97.01	97.63
Мин. вид по [23]	Магнезиальная роговая обманка											Тремолит
T, °C, по [25]	574	594	598	620	579	562	579	617	609	639	594	550

Примечание. Образцы P7-2, P8-1 – амфиболиты, гора Лысая; P10-2 – прослой катаклазированного метагаббро, там же; P11-1 – метадолерит, высота 394,4 м; P12-1 – амфиболит, там же; P17-1 – амфиболит, берег р. Ревда ниже Мариинского водохранилища.

Note. Samples P7-2, P8-1 – amphibolites, Mt. Lysaya; P10-2 – cataclastic metagabbros interlayer, ibid; P11-1 – metadolerite, Mt. 394,4 m; P12-1 – amphibolite, ibid; P17-1 – amphibolite, coast Revda River downstream of Mariinskoye reservoir.

Таблица 3. Химический состав пород мариинского комплекса из восточного обрамления Ревдинского массива, мас. %**Table 3.** Chemical composition of rocks of Mariinsky suite from eastern frame of the Revdinsky Massif, wt %

Обр.	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	П.п.п.	Сумма
Долериты параллельных даек горы Азов													
106/1*	52.03	0.72	12.71	6.60	3.70	0.16	8.25	10.78	2.10	0.08	0.10	2.80	100.02
106/4*	51.52	0.55	13.21	5.25	3.70	0.16	8.90	11.25	2.30	0.13	0.08	2.70	99.75
107/1*	49.31	0.78	13.72	6.30	4.10	0.18	8.84	10.97	2.30	0.28	0.07	3.00	99.84
108/2*	49.17	0.60	11.73	6.70	4.60	0.16	11.57	10.39	1.80	0.15	0.11	2.80	99.78
109/1	54.90	0.70	14.02	5.58	2.90	0.21	6.57	8.33	4.60	0.03	0.12	2.20	100.15
109/2	54.59	1.04	12.52	7.46	3.20	0.16	6.46	10.00	1.10	0.03	0.13	3.50	100.18
109/3	51.00	0.51	12.00	4.89	4.20	0.15	10.58	10.87	2.20	0.03	0.08	3.60	100.12
A20-6	62.25	0.94	12.79	6.23	0.20	0.07	3.04	10.24	2.27	0.11	0.31	1.70	100.13
Базальты подушечных лав горы Азов													
106/3*	56.77	0.65	12.45	4.71	3.80	0.20	6.71	8.15	4.50	0.02	0.08	1.80	99.83
A20-2	50.91	0.70	13.76	5.60	3.40	0.16	9.14	9.87	3.70	0.25	0.12	2.50	100.12
A20-3	49.56	0.81	11.74	6.27	5.20	0.21	10.42	9.86	2.97	0.14	0.13	2.70	100.00
A20-5	50.81	0.63	14.53	6.43	4.40	0.18	8.14	7.40	4.57	0.13	0.12	2.65	99.97
Долериты параллельных даек, затопленный карьер													
A21-2	51.22	0.61	12.36	6.75	3.60	0.12	8.97	10.02	3.43	0.21	0.20	2.30	99.78
A21-4	50.24	0.79	14.23	8.38	3.80	0.13	7.89	9.00	1.89	0.11	0.20	3.40	100.07
A21-7	49.00	0.78	11.50	6.37	4.50	0.16	12.50	9.07	3.12	0.18	0.12	2.70	100.00
A21-8	50.88	0.55	11.24	6.48	3.20	0.24	12.15	9.83	2.76	0.75	0.12	2.00	100.19
A21-9	70.16	0.67	14.22	2.78	0.20	0.02	1.34	3.37	5.26	0.74	0.16	1.10	100.02
A21-11	55.03	0.76	18.20	6.86	0.80	0.14	3.39	8.09	3.27	0.61	0.29	2.55	100.00
Базальты подушечных лав, затопленный карьер													
A21-5	53.56	1.02	12.54	10.41	4.50	0.12	4.52	7.60	2.62	0.11	0.14	2.80	99.93

* Анализы [5].

* Analyzes [5].

дацито-андезитового состава (табл. 4, ан. A20-6) при несколько повышенном суммарном содержании редких земель (73.4 г/т) наблюдается спектр,

субпараллельный спектрам долеритовых даек с небольшим обогащением легкими лантаноидами (Lan/Ybn = 2.77). Подушечные лавы незначитель-

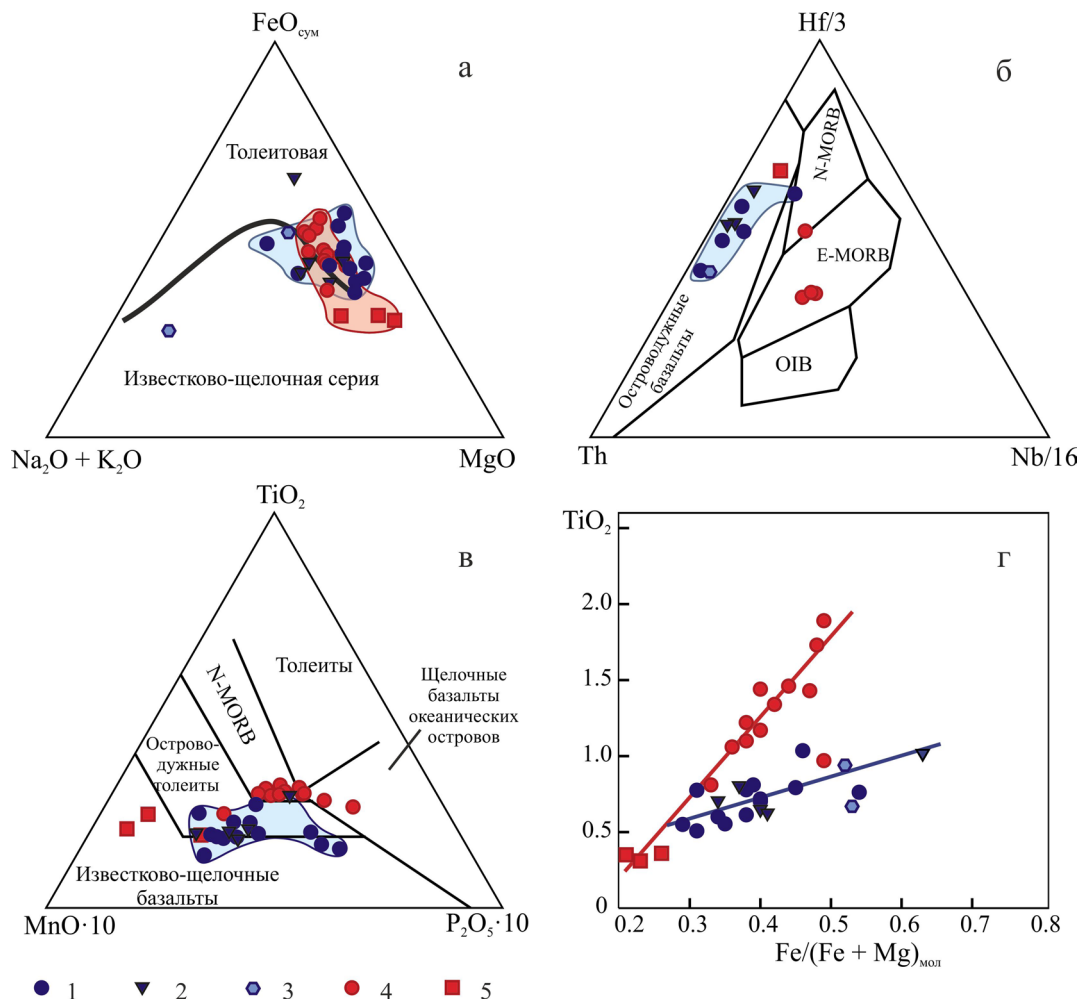


Рис. 4. Положение точек составов пород офиолитов восточного и западного обрамления Ревдинского массива на диаграммах.

а – AFM [22], б – Th–Hf/3–Nb/16 [27], в – MnO–P₂O₅–TiO₂ [24], г – Fe/(Fe + Mg)_{мол}–TiO₂. E-MORB – обогащенные базальты срединно-океанических хребтов. Офиолиты восточного обрамления Ревдинского массива: 1 – долериты параллельных даек, 2 – базальты из скринов, 3 – андезито-дациты параллельных даек; офиолиты западного обрамления: 4 – амфиболиты, 5 – катаклазированные метагабро, гора Лысая.

Fig. 4. The position composition points of the ophiolites from eastern and western frames of the Revda massif on the diagrams.

а – AFM [22], б – Th–Hf/3–Nb/16 [27], в – MnO–P₂O₅–TiO₂ [24], г – Fe/(Fe + Mg)_{мол}–TiO₂. E-MORB – enriched mid-ocean ridges basalts. 1–3 – ophiolites of eastern frame Revda Massif: 1 – dolerites of sheeted dikes, 2 – basaltes from screens, 3 – andesite-dacite sheeted dikes, 4–5 – ophiolites of western frame: 4 – amphibolites, 5 – cataclastic metagabbros Mt. Lysaja.

но обеднены редкими землями (11.2–17.2 г/т) по сравнению с долеритовыми дайками (28–73 г/т), в них наблюдается отрицательная Eu-аномалия ($Eu/Eu^* = 0.54–0.89$) (рис. 5а).

На спайдер-диаграмме (рис. 5б) в долеритах параллельных даек (включая дайку дацит-андезитового состава) и вмещающих базальтах наблюдается дефицит HFSE (Th, Nb, Ta, Zr) Y и Rb и максимумы по Sr и Ba. На дискриминационной диаграмме P₂O₅–TiO₂–MnO [24] большая часть точек располагается в поле островодужных толеитов (см. рис. 4в). На диаграмме Th–Hf/3–Nb/16 [27] боль-

шинство анализов попадает в поле составов островодужных базальтов, единичные анализы попадают в поле составов N-MORB (см. рис. 4б). Все это дает основание подтвердить вывод, сделанный ранее К.С. Ивановым и соавторами [8], относительно формирования описываемого блока офиолитов в условиях задугового спрединга.

В западном обрамлении Ревдинского массива амфиболиты по содержанию петрогенных элементов также соответствуют низкокалийным толеитовым базальтам нормальной щелочности (табл. 5), для которых характерна умеренная железистость

Таблица 4. Содержание элементов в породах мариинского комплекса восточного обрамления Ревдинского массива, г/т**Table 4.** Element composition of rocks of Mariinsky suite at eastern frame of the Revdinsky Massif, ppm

Элемент	Образцы								
	106/1	106/4	107/1	108/2	A20-6	A-3-73	A20-2	A20-5	106/3
Li	0.5898	0.6600	0.7315	0.9446	0.2046	Н. о.	0.4204	0.3333	0.4039
Be	0.3672	0.1828	0.2637	0.2591	0.2002	—	0.1375	0.1351	0.2851
Sc	30.980	33.110	37.602	29.808	8.6390	—	16.497	14.104	31.628
Ti	4001.8	3162.6	4352.7	3195.3	2759.8	3900	1972.9	2004.5	3302.4
V	248.27	249.31	206.28	245.39	85.71	Н. о.	129.15	121.20	193.07
Cr	279.42	189.39	287.82	457.06	1.098	—	185.47	119.79	260.93
Mn	949.10	997.91	1099.1	968.31	161.17	—	559.20	343.79	1199.0
Co	57.623	54.067	43.994	59.521	51.117	—	61.164	33.064	71.042
Ni	104.24	93.786	80.219	178.45	4.7484	—	69.918	51.052	93.696
Cu	8.4306	27.746	27.091	71.344	16.510	—	6.3957	29.132	7.1775
Zn	38.958	45.537	53.395	43.570	11.194	—	25.945	25.381	50.071
Ga	15.253	14.247	12.662	13.837	11.336	—	8.7496	10.013	6.2698
Ge	1.3925	1.0079	0.9222	1.0436	1.1408	—	0.9448	0.8459	0.7195
Rb	0.6232	1.1973	2.4312	1.9308	0.1562	0.396	1.0190	0.1964	0.3777
Sr	357.86	249.30	219.46	325.57	346.41	265.736	210.83	214.56	160.67
Y	13.643	10.006	14.389	9.8767	14.755	13.909	6.3778	6.3398	6.7942
Zr	40.710	22.951	31.125	39.892	36.868	44.365	18.335	16.873	32.234
Nb	0.9766	0.3410	1.1578	0.4743	1.1985	0.444	0.3608	0.2857	0.4849
Mo	Н. о.	Н. о.	0.0486	Н. о.	0.0412	Н. о.	0.3369	0.1105	Н. о.
Ag	0.0280	0.1960	0.0463	0.0597	0.0736	—	0.0313	0.1812	0.0799
Cd	0.0246	0.0273	0.0330	0.0646	0.0437	—	0.0092	0.0277	0.0177
Sn	0.3435	0.1454	0.3476	0.1533	0.7474	—	0.4507	0.5301	0.2977
Sb	0.1221	0.1044	0.0948	0.0500	0.0978	—	0.0492	0.0535	0.0957
Te	0.0284	0.0262	0.0203	0.0445	0.0319	—	0.0480	0.0072	0.0166
Cs	0.0142	0.0248	0.0397	0.0523	0.0209	—	0.0550	0.0166	0.0123
Ba	24.898	43.094	64.556	43.441	4.7464	26.890	55.612	17.990	17.788
La	3.5116	2.6139	2.0921	5.3961	8.2847	4.857	0.5361	1.4741	1.0594
Ce	10.857	7.9982	6.9093	15.929	23.524	14.844	1.6666	4.4582	3.6923
Pr	1.6434	1.2089	1.0941	2.2040	3.5146	2.279	0.3196	0.6931	0.5945
Nd	8.3683	6.2942	5.788	10.757	17.440	11.111	1.7058	3.5741	3.2239
Sm	2.3393	1.7614	1.8238	2.6010	4.3750	3.056	0.7255	0.9581	0.9832
Eu	0.8169	0.6438	0.7034	0.8369	1.0985	1.119	0.2366	0.3189	0.1865
Gd	2.5846	1.9027	2.2821	2.4241	4.6370	3.426	1.2125	1.2325	1.1068
Tb	0.3941	0.3041	0.4044	0.3313	0.6290	0.568	0.2401	0.2115	0.1943
Dy	2.6148	1.9952	2.8029	2.1232	4.0878	3.458	1.6668	1.5153	1.3613
Ho	0.5485	0.4117	0.5880	0.4038	0.8180	0.747	0.3792	0.3636	0.2707
Er	1.5664	1.1410	1.6986	1.1281	2.3428	1.996	1.1410	1.0703	0.8115
Tm	0.2239	0.1639	0.2461	0.1528	0.3428	0.309	0.1650	0.1514	0.1236
Yb	1.4706	1.1064	1.6109	1.0401	2.0801	1.925	1.1026	1.0186	0.7976
Lu	0.2152	0.1575	0.2276	0.1566	0.2686	0.295	0.1274	0.1302	0.1173
Hf	1.2547	0.7938	0.9542	1.2144	1.7842	1.218	0.9246	0.9328	1.0837
Ta	0.0798	0.0369	0.0801	0.0358	Н. о.	0.040	Н. о.	Н. о.	0.0436
Tl	0.0308	0.0477	0.0408	0.0707	0.0783	Н. о.	0.0957	0.0399	0.0282
Pb	2.2233	0.4352	4.3018	0.6477	0.8254	1.062	0.2341	0.3340	0.3581
Bi	0.0140	0.0381	0.0172	0.0227	Н. о.	Н. о.	Н. о.	Н. о.	0.0241
Th	0.3284	0.2487	0.1287	0.5305	0.7600	0.265	0.1647	0.2516	0.2773
U	0.1257	0.1080	0.0566	0.1606	0.2390	0.094	0.0798	0.0537	0.0744

Примечание. Образцы 106/1, 106/4, 107/1, 108/2 – долериты параллельных даек, гора Азов [5]; A20-6 – андезито-дацит из комплекса параллельных долеритовых даек гора Азов; A-3-73 – долерит параллельных даек Азовского сегмента Тагильской зоны [12]; A20-2, A20-5 – базальты подушечных лав из скринов в пакетах параллельных даек, гора Азов; 106/3 – то же [5]. Н. о. – не определялось.

Note. Samples 106/1, 106/4, 107/1, 108/2 – dolerite of sheeted dikes Mt. Azov [5]; A20-6 – andesite-dacite of sheeted dike complex Mt. Azov; A-3-73 – dolerite of sheeted dikes of Mt. Azov segment of Tagil zone [12]; A20-2, A20-5 – pillow laws basalts from the screens of sheeted dikes, Mt. Azov; 106/3 – the same [5]. Н. о. – not determined.

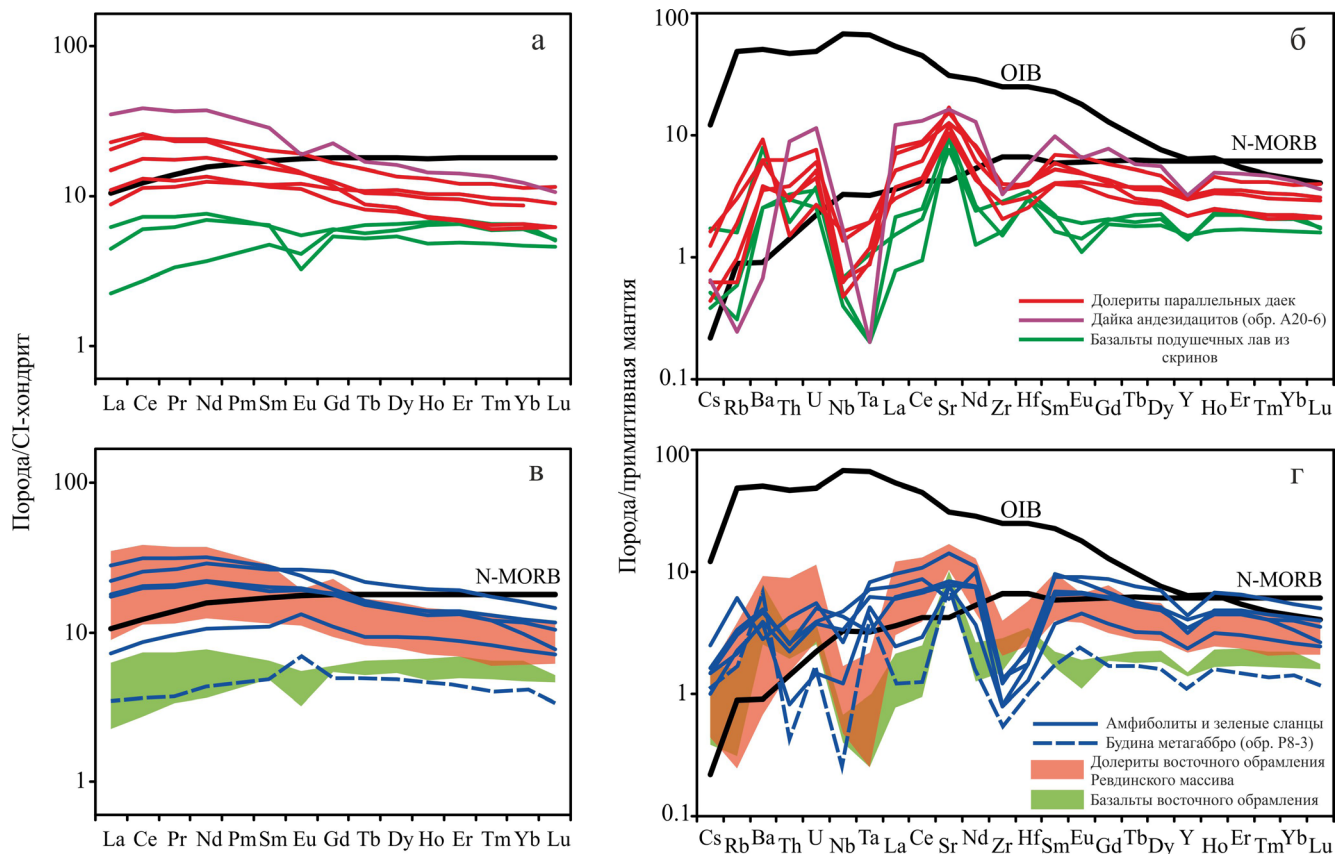


Рис. 5. Спайдер-диаграмма распределения РЗЭ и мультиэлементная диаграмма для пород из офиолитов восточного (а, б) и западного (в, г) обрамлений Ревдинского массива.

Составы CI-хондрита, примитивной мантии, базальтов срединно-океанических хребтов (N-MORB) и базальтов океанических островов (OIB) по [26].

Fig. 5. Spider-diagram REE and rare elements for the rocks of the ophiolites at eastern (a, б) and western (в,г) frames of the Revdinsky Massif.

Composition of CI-chondrite, Primitive mantle, mid-ocean ridges basalts (N-MORB) and oceanic islands basalts (OIB) by [26].

($f = 0.33\text{--}0.49$) и, в отличие от пород восточного обрамления, несколько повышенные содержания TiO_2 – $0.8\text{--}1.9\%$ [3]. Будины и пластообразные тела катаклазированного метагаббро на горе Лысая заметно отличаются по своему химическому и микроэлементному составу от вмещающих их тонкозернистых амфиболитов, а также от амфиболитов из других обнажений пониженными содержаниями TiO_2 ($0.31\text{--}0.36\%$), P_2O_5 ($0.01\text{--}0.05\%$) и меньшей железистостью f ($0.21\text{--}0.26$). На диаграмме AFM [22] амфиболиты и метагаббро попадают на границу известково-щелочных базальтов и толеитов (см. рис. 4а).

Амфиболиты характеризуются пологим спектром распределения РЗЭ с незначительным обогащением в области легких лантаноидов ($\text{La}/\text{Ybn} = 0.92\text{--}2.78$), близким к спектрам долеритов параллельных даек из восточного обрамления Ревдинского массива (см. рис. 5в). Проба метагаббро, по сравнению с амфиболитами, характеризуется пониженным содержа-

нием TiO_2 ($0.31\text{--}0.36\%$), меньшей железистостью f ($0.21\text{--}0.26$), пониженным содержанием редкоземельных (10.8 г/т) (табл. 6) и ряда некогерентных элементов (см. рис. 3б, в, рис. 5в, г), а также слабой положительной Eu-аномалией ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1.39$) [3]. На спайдер-диаграмме некогерентных элементов (см. рис. 5г) в амфиболитах западного обрамления, по сравнению с породами восточного обрамления, наблюдается менее выраженный минимум по Ta-Nb, более ярко выраженный минимум по Zr-Hf, практически отсутствующий максимум по Sr и незначительное обогащение другими LILE (Rb, Cs, Ba). На дискриминационной диаграмме $\text{P}_2\text{O}_5\text{--TiO}_2\text{--MnO}$ [24] точки составов амфиболитов преимущественно попадают в поле составов базальтов срединно-океанических хребтов (N-MORB) вблизи границы с полем островодужных толеитов, а анализы метагаббро – в поле известково-щелочных базальтов, тем самым практически не попадая в область составов пород восточного обрамления Ревдинского массива

Таблица 5. Химический состав пород мариинского комплекса из западного обрамления Ревдинского массива, мас. %**Table 5.** Chemical composition of Mariinsky suite rocks from western frame of the Revdinsky Massif, wt %

Номер обр.	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	П.п.п.	Сумма
Будины и прослой метабазитов, гора Лысая													
P7-2	47.21	0.35	15.40	4.10	2.30	0.11	12.45	14.17	1.69	0.14	0.05	2.00	99.97
P8-3	49.33	0.31	13.36	3.86	3.20	0.11	12.41	13.03	2.37	0.23	0.01	2.00	100.22
P10-2	51.38	0.36	15.69	4.22	2.00	0.10	9.29	11.53	3.55	0.27	0.02	1.80	100.22
Вмещающие мелкозернистые амфиболиты, гора Лысая													
P3-1	49.56	1.73	13.73	5.98	5.60	0.18	6.79	11.24	2.76	0.26	0.25	1.80	99.88
P7-1	48.04	1.06	14.06	6.23	3.80	0.13	9.53	12.19	2.62	0.16	0.12	2.00	99.94
P8-2	47.84	1.46	16.05	4.43	5.40	0.16	6.77	11.56	3.52	0.32	0.17	2.20	99.88
P10-1	49.57	1.43	14.81	6.39	4.50	0.13	6.42	10.97	3.26	0.16	0.25	2.10	100.00
Амфиболиты, гора 395.4													
P11-1	49.50	1.89	13.24	5.77	6.10	0.18	6.63	10.66	3.54	0.27	0.25	1.90	99.93
P11-2	56.86	0.97	14.17	5.09	3.00	0.08	4.42	11.17	1.57	0.14	0.21	2.40	100.08
P12-1	46.88	1.44	17.30	4.48	4.60	0.14	7.42	11.38	2.98	0.26	0.21	2.70	99.79
Амфиболиты из обнажений на берегу р. Ревда и на горе Токариха													
P1-1	47.94	0.81	17.51	4.99	2.70	0.17	8.29	11.53	3.61	0.26	0.09	2.20	100.09
P17-1	48.92	1.10	13.49	5.09	5.30	0.12	8.92	12.19	2.69	0.18	0.14	2.00	100.14
P18-1	49.53	1.34	13.69	6.93	3.90	0.17	7.92	10.91	3.13	0.23	0.17	2.10	100.01
P18-2	48.51	1.22	15.98	5.42	3.90	0.15	7.87	11.26	3.13	0.23	0.16	2.10	99.92
P19-1	51.25	1.17	14.00	4.35	5.35	0.16	7.73	10.54	2.95	0.17	0.13	2.10	99.90

Таблица 6. Содержание элементов в породах мариинского комплекса западного обрамления Ревдинского массива, г/т**Table 6.** Element composition of Mariinsky suite rocks at western frame of the Revdinsky Massif, ppm

Элемент	Номер образца						Элемент	Номер образца					
	P8-2	P8-3	P1-1	P18-2	P19-1	P40-2		P8-2	P8-3	P1-1	P18-2	P19-1	P40-2
Li	1.2274	1.6030	1.1714	1.3989	0.8016	9.9164	Cs	0.0517	0.0347	0.0320	0.0468	0.0477	0.0798
Be	0.2352	0.1189	0.1304	0.2568	0.2652	0.3772	Ba	34.594	47.416	26.603	27.516	32.563	19.482
Sc	17.711	19.290	12.281	15.492	17.243	24.358	La	4.2617	0.8277	1.7004	4.1186	5.2525	6.6651
Ti	4920.9	1096.6	2752.0	4006.2	5389.0	4851.9	Ce	12.439	2.2004	5.2234	11.969	15.541	19.081
V	152.21	92.92	100.64	119.66	148.47	233.33	Pr	1.9551	0.3483	0.9074	1.9125	2.4957	2.9667
Cr	60.93	290.08	172.35	132.13	30.522	87.037	Nd	10.286	2.0192	4.9525	10.089	13.529	14.880
Mn	423.44	491.06	429.80	587.79	419.99	535.58	Sm	3.0817	0.7409	1.6601	2.8883	4.0145	4.2365
Co	33.140	34.179	32.489	48.391	37.108	35.814	Eu	1.1457	0.3964	0.7695	1.1141	1.5129	1.3898
Ni	25.930	93.289	66.307	45.613	22.394	37.490	Gd	3.6579	1.0147	2.2404	3.7412	5.2001	4.0126
Cu	29.579	10.285	56.538	56.109	39.557	122.50	Tb	0.5677	0.1826	0.3483	0.5863	0.8146	0.6111
Zn	52.799	28.192	33.331	54.722	53.207	121.26	Dy	3.6045	1.2042	2.3469	3.7658	5.1611	3.7506
Ga	10.990	7.3592	9.0671	10.316	10.490	14.868	Ho	0.7346	0.2581	0.5189	0.7894	1.0999	0.7855
Ge	1.1213	1.2186	1.0263	0.9512	1.0492	0.9552	Er	2.1731	0.7152	1.4531	2.3096	3.1429	2.2087
Rb	2.1146	1.0386	1.4306	1.3578	1.9153	3.8742	Tm	0.3044	0.1019	0.2082	0.3323	0.4429	0.3044
Sr	178.46	151.08	159.29	164.88	127.78	300.60	Yb	1.9845	0.7035	1.2872	2.0825	2.7019	1.6636
Y	15.845	4.9673	10.696	14.320	19.986	18.592	Lu	0.2644	0.0869	0.1809	0.2969	0.3702	0.1958
Zr	14.673	5.7256	8.8561	9.0877	13.497	15.293	Hf	0.6986	0.2917	0.4006	0.5491	0.7380	0.5422
Nb	3.0606	0.1833	0.8598	2.3804	3.3723	1.9026	Ta	0.0963	—	—	—	0.0818	0.1210
Mo	0.2565	0.0857	0.0736	0.1941	0.2178	0.2348	Tl	0.0498	0.1528	0.0252	0.0139	0.0496	0.4165
Ag	0.2124	0.0413	0.0336	0.0913	0.1287	0.1762	Pb	5.0760	0.7350	0.3360	0.7670	1.2007	4.2261
Cd	0.2731	0.0792	0.0784	0.1293	0.1788	0.3064	Bi	0.0099	—	—	—	—	0.0330
Sn	0.9373	0.4253	0.6318	0.8679	1.1204	0.7815	Th	0.2150	0.0363	0.0700	0.1881	0.2231	0.3633
Sb	0.0642	0.1482	0.0341	0.0688	0.0751	0.1039	U	0.1063	0.0345	0.0312	0.0784	0.0819	0.1160
Te	0.0115	0.0687	0.0320	0.0190	0.0104	0.0132							

Примечание. Образец P8-2 – метабазит из будины на горе Лысая, P8-3 – вмещающий тонкозернистый амфиболит, там же, P1-1, P18-2, P19-1 – амфиболиты возле р. Ревда ниже Мариинского водохранилища и на вершине горы Токариха, P40-2 – метабазит из карьера в 2 км к северу от пос. Мариинск.

Note. Sample P8-2 – metagabbros from boudins, Mt. Lysaya; P8-3 – accommodating coarse-grained amphibolite, ibid; P1-1, P18-2, P19-1 – amphibolites near Revda River downstream of Mariinskoye reservoir at Mt. Tokariha; P40-2 – metabasalt from a quarry 2 km north of the settlement Mariinsk.

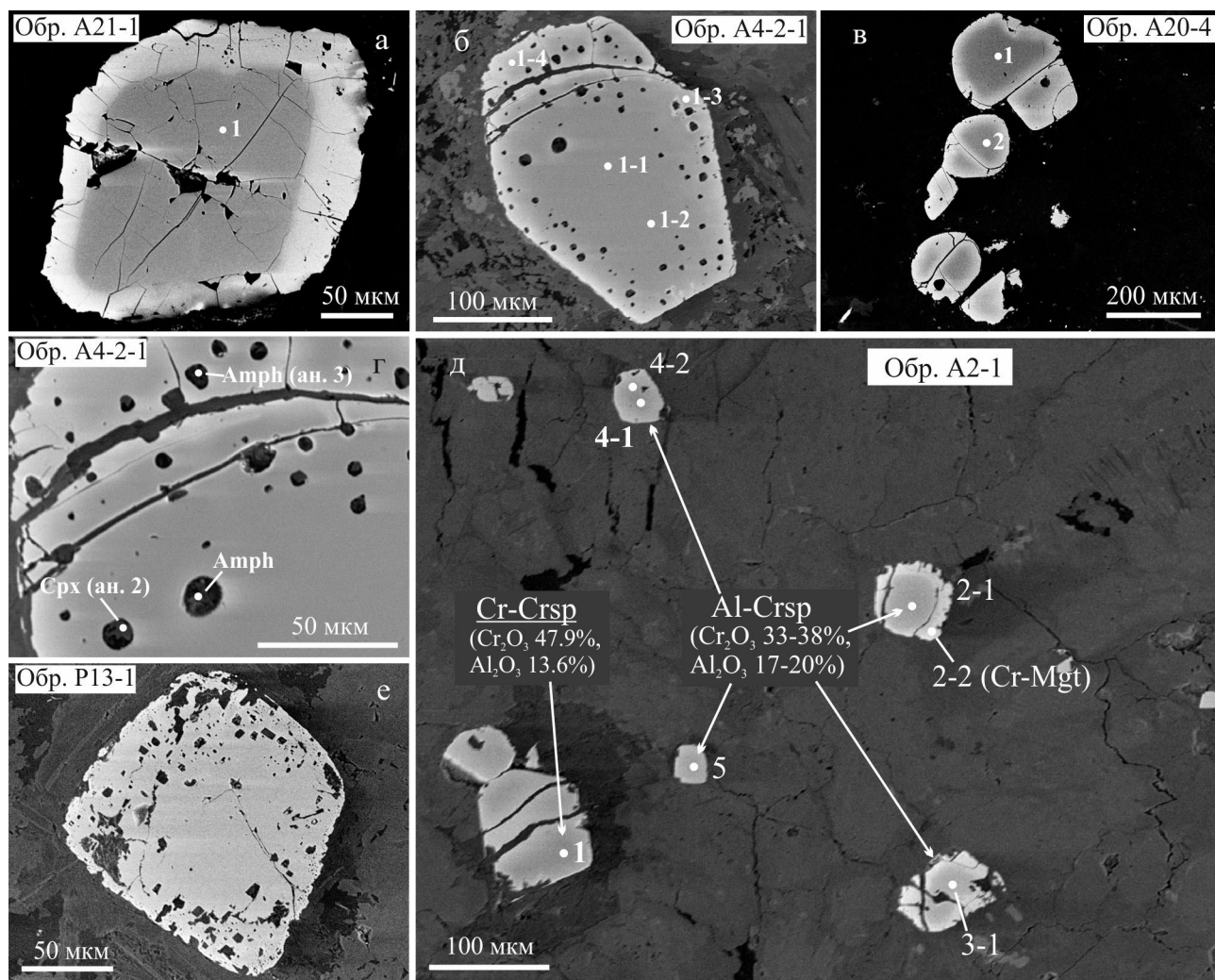


Рис. 6. Зерна акцессорной хромовой шпинели в долеритах параллельных даек (а, б, г, д) и вмещающих базальтах (в) офиолитов восточного обрамления Ревдинского массива (а–д) и в амфиболитах офиолитового комплекса его западного обрамления (е).

На фото “д” скопления зерен хромовой шпинели в обр. А2-1: *Cr-Crsp* – высокохромистая шпинель, *Al-Crsp* – высокоглиноземистая хромовая шпинель, *Cr-Mgt* – хроммагнетитовая кайма. Фото в отраженных электронах, Cameca SX-100. Номера точек микрозондовых анализов соответствуют таковым в табл. 7.

Fig. 6. Grain of accessory chrome-spinel of dolerite of sheeted dikes complex (a, б, г, д) and intruded basalts (в) of the ophiolites at eastern frame of Revdinsky Massif and amphibolites from the ophiolites at their western frame (e).

On the photo “д” there are grains of chromian spinel in sample A2-1: *Cr-Crsp* – high-Cr chromian spinel, *Al-Crsp* – high-Al chromian spinel, *Cr-Mgt* – Cr-magnetite margin. Back scattered electron image, Cameca SX-100. Numbers of microprobe points corresponds to ohes in Table 7.

(см. рис. 5в). На диаграмме Th–Hf/3–Nb/16 [27] точки амфиболитов также ложатся в стороне от области составов пород восточного обрамления, попадая преимущественно в поля составов N-MORB и E-MORB (см. рис. 5б). Наибольшее отличие данных амфиболитов от офиолитов восточного обрамления Ревдинского массива показано на диаграмме $\text{FeO}_{\text{сум}}/(\text{FeO}_{\text{сум}} + \text{MgO}) - \text{TiO}_2$ (см. рис. 5 г), где эти две ассоциации образуют разнонаправленные линейные тренды [3], вызванные разным содержанием

ем в породах TiO_2 . Таким образом, в отличие от пород восточного обрамления Ревдинского массива амфиболиты мариинского комплекса из его западного обрамления сочетают в себе геохимические особенности как базальтов СОХ, так и задуговоспрединговых базальтов и их формирование, по всей видимости, происходило в другой геодинамической обстановке, например в пределах фронтальной части островной дуги или на ранних стадиях заложения задугового бассейна.

Таблица 7. Состав акцессорных хромовых шпинелей из базальтов, долеритов и амфиболитов мариинского комплекса, мас. %**Table 7.** Chemical composition of accessory chrom-spinel of basalt, dolerite and amphibolite of Mariinsky suite, wt %

Образец	Ан.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	NiO	ZnO	Сумма
Породы восточного обрамления Ревдинского массива													
Долериты параллельных даек, гора Азов													
106	1	0.00	0.41	13.32	51.34	0.19	19.90	0.11	13.27	0.00	0.13	0.03	98.70
	2	0.00	0.45	11.15	50.59	0.16	23.59	0.11	11.63	0.01	0.08	0.02	97.79
	3	0.00	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	0.00	0.25	13.29	53.64	Н. о.	22.26	0.36	10.09	0.03	Н. о.	Н. о.	99.92
A5-2	1	0.07	0.33	13.07	51.68	0.07	20.86	0.20	13.00	0.00	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	0.20	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	0.00	0.37	13.67	47.85	Н. о.	26.89	0.47	8.97	0.01	Н. о.	Н. о.	98.23
	2-1	0.00	0.69	18.75	36.73	—	36.50	1.17	3.66	0.10	—	—	97.60
	3-1	0.00	0.55	17.20	32.99	—	40.93	2.15	0.37	0.13	—	—	94.32
	4-1	0.00	0.69	20.46	37.49	—	29.20	0.62	9.11	0.18	—	—	97.75
	4-2 к	0.00	0.63	19.77	34.54	—	36.97	1.42	3.11	0.25	—	—	96.69
A4-2-1	5	0.00	0.36	17.63	38.16	—	34.98	1.44	3.91	0.30	—	—	96.78
	1-1	0.00	0.20	13.25	55.13	—	14.52	0.10	13.99	0.02	—	—	97.21
	1-2	0.00	0.20	13.29	55.27	—	14.28	0.15	14.05	0.00	—	—	97.24
	1-3 к	0.00	0.21	11.30	53.21	—	26.18	0.61	6.54	0.09	—	—	98.14
	1-4 к	0.00	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
Долериты параллельных даек, затопленный карьер													
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	0.00	0.00	1.18	98.71
	1-2	0.03	0.27	8.36	51.69	0.07	35.05	1.12	2.28	0.00	0.05	1.16	100.08
	1-3 к	0.03	0.11	3.74	47.63	0.18	41.81	3.78	0.11	0.01	0.00	1.38	98.78
Подушечные лавы, гора Азов													
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	0.00	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
Породы западного обрамления Ревдинского массива													
P11-3	1-1	0.04	0.2	21.22	30.57	0.11	42.63	0.90	1.40	0.04	0.08	1.6	98.79
	1-3	0.11	0.15	33.81	32.58	0	24.84	0.68	8.00	0.09	0.11	0.12	100.49
	2-1	0.04	0.46	16.78	32.29	0.31	45.26	1.08	0.49	0.10	0.00	0.98	97.79
	2-5	0.04	0.48	11.44	47.62	0.05	35.47	1.17	0.39	0.25	0.03	1.76	98.70
	2-9	0.04	0.32	12.03	41.22	0.22	40.39	1.14	0.79	0.27	0.04	1.31	97.77
	2-10	0.04	0.21	12.13	43.51	0.14	38.97	1.10	0.80	0.29	0.05	1.33	98.57
P13-3	4-1	0.01	0.28	11.86	44.94	0.17	39.29	1.05	0.67	0.03	0.09	1.10	99.49
	5	0.07	0.10	28.95	29.66	0.08	35.19	0.82	1.74	0.00	0.01	3.24	99.86

АКЦЕССОРНАЯ ХРОМОВАЯ ШПИНЕЛЬ

В породах мариинского комплекса восточного обрамления Ревдинского массива зерна акцессорной хромовой шпинели установлены в долеритах параллельных даек, а также в зеленокаменно измененных межподушечных гиалокластитах в скринах

пиллоу-лав (рис. ба–д). В долеритах хромовая шпинель образует идиоморфные зерна в пространстве между реликтами зерен плагиоклаза и амфибола. В сильно метаморфизованных разностях долеритов и в межподушечных гиалокластитах хромовая шпинель окружена тонкозернистым агрегатом метаморфогенных минералов. Размер зерен хромо-

Таблица 8. Состав минералов из расплавных включений в зернах аксессуарных хромовых шпинелей из долеритов и базальтов мариинского комплекса в восточном обрамлении Ревдинского массива, мас. %

Table 8. Chemical composition of minerals of melt inclusion in grains of accessory chromian spinel of Mariinsky suite dolerite and basalt at eastern frame of the Revdinsky Massif, wt %

Номер обр.	Ан.	М-рал	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма
A4-2-1	1	<i>Chl</i>	24.08	0.03	16.47	9.59	21.02	0.63	16.54	0.05	0.06	0.07	88.54
	2	<i>Cpx</i>	51.35	0.36	4.93	1.97	4.08	0.13	16.22	21.15	0.13	0.00	100.32
	3	<i>Amph</i>	55.00	0.81	3.80	1.92	1.58	0.04	20.80	13.92	0.35	0.03	98.25
	4	<i>Amph</i>	51.42	0.22	8.91	1.88	4.06	0.08	16.86	14.92	0.25	0.06	98.66
	5	<i>Cpx</i>	47.51	0.39	9.28	2.21	6.76	0.19	13.36	19.81	0.21	0.06	99.78
A5-2	3	<i>Chl</i>	27.29	0.01	18.21	3.53	20.04	0.34	17.23	0.32	0.01	0.02	87.00
	4	<i>Amph</i>	46.30	1.70	11.89	1.90	3.95	0.09	18.09	11.71	1.94	0.04	97.61
	5	<i>Amph</i>	45.57	0.76	13.21	2.29	3.82	0.03	18.20	12.19	2.02	0.02	98.11
A5-4	1	<i>Cpx</i>	45.80	0.84	9.58	1.61	6.94	0.12	11.57	22.01	0.20	0.02	98.69
A7-1	1	<i>Cpx</i>	50.79	0.31	4.45	1.18	4.59	0.11	16.17	21.76	0.19	0.00	99.55
	3	<i>Cpx</i>	50.97	0.26	4.15	1.47	3.73	0.06	16.82	21.21	0.26	0.01	98.94
	4	<i>Cpx</i>	50.33	0.24	3.82	1.72	3.78	0.07	17.49	21.54	0.22	0.02	99.23
A20-4	1	<i>Chl</i>	25.00	0.03	17.25	5.58	24.06	0.48	14.78	0.08	0.02	0.01	87.29

Примечание. *Chl* – хлорит, *Cpx* – клинопироксен, *Amph* – амфибол. Образцы A4-2-1, A5-2, A5-4, A7-1 – долериты параллельных даек горы Азов, A20-4 – базальт из подушечных лав, там же.

Note. *Chl* – chlorite, *Cpx* – clinopyroxene, *Amph* – amphibole. Samples A4-2-1, A5-2, A5-4, A7-1 – dolerite of sheeted dikes Mt. Azov; A20-4 – pillow laws basalts, ibid.

вой шпинели варьирует от 30 до 500 мкм. При этом хромовая шпинель присутствует как в виде отдельных редких зерен, так и в виде их скоплений на локальном участке шлифа размером не более 6 мм (см. рис. 6 д). По периферии зерна хромовой шпинели замещаются каймой хромосодержащего магнетита, а в более метаморфизованных разностях – закономерно ориентированными чешуйками хлорита и магнетитом вплоть до полного замещения исходного минерала.

По составу зерна хромовой шпинели из базальтов и долеритов восточного обрамления Ревдинского массива сходны и попадают в поля составов хромита, пикотита и шпинели (табл. 7). В центральных частях зерен содержание Cr₂O₃ варьирует от 33 до 56%, отношение Cr/(Cr + Al + Fe³⁺) составляет 0.51–0.76, отношение Fe²⁺/(Fe²⁺ + Mg) широко варьирует от 0.34 до 0.99. Последнее, вероятно всего, связано с метаморфизмом центральных частей некоторых зерен. В зернах хромовой шпинели установлены изоморфные примеси MnO – до 3.78%, TiO₂ – до 1.04% и ZnO – до 5% (см. табл. 7).

В некоторых образцах долеритов одновременно присутствуют зерна высокохромистой и относительно глиноземистой хромовой шпинели, расположенные в непосредственной близости друг от друга и не различающиеся по морфологии (см. рис. 6д). Вероятнее всего, такие скопления связаны с контаминацией ксенолитов горных пород, вынесенных расплавом в верхние горизонты земной коры.

В зернах хромовой шпинели наблюдаются многочисленные расплавные включения преимущественно округлой или овальной формы размером до 10–30 мкм (см. рис. 6г). Встречаются как од-

нофазные, так и многофазные включения, состоящие из двух и более силикатных фаз. Как и матрица вмещающей породы, включения частично или полностью замещены метаморфогенными минералами, преимущественно роговой обманкой и хлоритом (табл. 8). Из первичных магматических минералов в них встречен клинопироксен, содержащий 45–47% волластонитового минала (см. табл. 8) и попадающий на границу полей составов диопсида и авгита. Амфибол характеризуется невысокой железистостью ($f = 0.04–0.13$) и попадает в поля составов тремолита, магнезиальной роговой обманки и чермакита. Температура его образования, рассчитанная по мономинеральному термометру Оттена [25], составила 573–760°C. Хлорит по составу соответствует клинохлору. В нем отмечается повышенная железистость ($f = 0.39–0.48$) и повышенное содержание примеси Cr₂O₃ (3.5–9.6%) по сравнению с хлоритом из матрицы долеритов.

В породах мариинского комплекса западного обрамления Ревдинского массива хромовая шпинель встречается в двух образцах крупнозернистого амфиболита из обнажения на северном отроге высоты 395.4 м (обр. P11-3) и на горе Токариха (обр. P13-3). Зерна хромовой шпинели имеют размер 50–200 мкм (см. рис. 6е). В них наблюдаются следы метаморфических преобразований в виде замещения хромовой шпинели хромовым магнетитом и закономерно ориентированных включений хлорита. По составу хромовая шпинель из пород западного обрамления попадает в области составов герцинита и хромита (см. табл. 7). Отношение Cr/(Cr + Al) варьирует от 0.39 до 0.74, Cr/(Cr + Al + Fe³⁺) – от 0.39 до 0.70, Fe²⁺/(Fe²⁺ + Mg) – от 0.63 до 0.92.

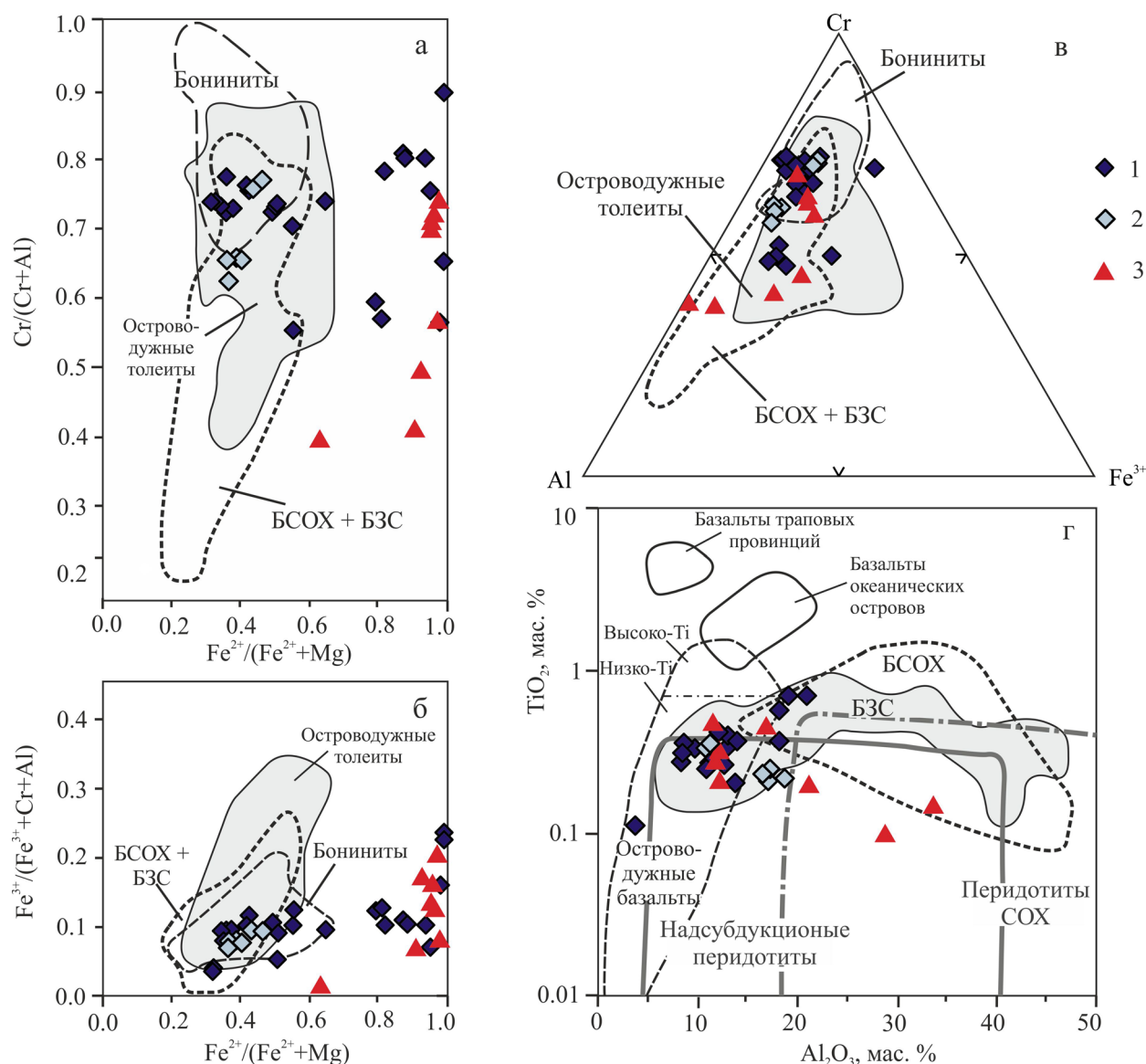


Рис. 7. Состав хромовых шпинелей из пород офиолитовой ассоциации восточного и западного обрамлений Ревдинского массива, вынесенные на диаграммы из работ [20 и 21].

а–в – поля составов для хромовой шпинели из толеитов различных геодинамических обстановок по [20], г – поля составов для шпинели из вулканитов различных геодинамических обстановок, а также из перидотитов зон СОХ и из надсубдукционных перидотитов по [21]. Офиолиты восточного обрамления Ревдинского массива: 1 – шпинель из долеритов параллельных даек, 2 – шпинель из подушечной лавы скринов; офиолиты западного обрамления: 3 – шпинель из амфиболитов.

Fig. 7. Chemical composition of accessory chrome-spinel from ophiolites of eastern and western frames of the Revdinsky Massif on diagrams from works [20, 21].

а–в – chrome-spinel from basalts of different geodynamic settings by [20], г – chrome-spinel from basalts of different geodynamic settings, peridotites of MORB and suprasubduction peridotites by [21]. 1, 2 – spinel from dolerites of sheeted dikes (1) and screenfs of pillow basalts (2) from eastern frame; 3 – spinel of amphibolites from western frame of Revdinsky Massif.

Произведено сопоставление составов акцессорной хромовой шпинели из метавулканитов маринского комплекса из восточного и западного обрамлений Ревдинского массива с данными, приводимыми в [20, 21] для шпинелей из базальтов различных геодинамических обстановок. На тройной

диаграмме Al–Cr–Fe³⁺ (рис. 7в) анализы центральных частей зерен хромовой шпинели из восточного и западного обрамлений сгруппированы в единую область и попадают в перекрывающиеся поля составов толеитов зон растяжения срединно-океанического хребтов и задугового спрединга

(БСОХ + БЗС), бонинитов и островодужных толеитов по данным [20]. На диаграммах соотношений двух- и трехвалентных катионов (см. рис. 7а, б) большая часть анализов из центральных частей зерен хромовой шпинели пород восточного обрамления попадает в поле составов островодужных толеитов, перекрывающееся с полями БСОХ + БЗС и бонинитов по [20]. При этом почти половина точек составов вместе с анализами хромовых шпинелей из западного обрамления Ревдинского массива отклоняются от этих полей в сторону повышенного отношения $Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Mg)$, что, по всей видимости, указывает на метаморфические преобразования исследуемых хромовых шпинелей. На диаграмме $Al_2O_3-TiO_2$ (см. рис. 7г) точки анализов хромовой шпинели из пород восточного обрамления полностью попадают в поле составов задугового спрединговых базальтов, частично перекрывающегося с полями составов БСОХ и низкотитанистых островодужных толеитов по [21]. Составы шпинелей из амфиболитов западного обрамления на данной диаграмме попадают преимущественно на пересечение полей составов базальтов зон задугового спрединга и низкотитанистых островодужных толеитов, часть анализов тяготеет к полю БСОХ.

Итак, можно сделать вывод о том, что составы хромовых шпинелей из параллельных даек и вмещающих подушечных лав восточного обрамления Ревдинского массива и амфиболитов его западного обрамления типичны для вулканитов, образовавшихся в надсубдукционной обстановке и в обстановке задугового спрединга. Этот вывод подтверждают данные относительно обстановок формирования базальтоидов мариинского комплекса, полученные на основании геохимических исследований.

ВЫВОДЫ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Таким образом, показано, что в восточном обрамлении Ревдинского массива породы мариинского комплекса представлены тектоническими блоками, сложенными комплексом параллельных даек, прорывающим подушечные лавы базальтов и андезибазальтов. В этом комплексе также установлены кислые дайки, сложенные дацито-андезитами и дацитами, относящимися, как и долериты параллельных даек, к низкокальцевой толеитовой серии. Геохимические особенности долеритовых даек и вмещающих базальтов позволяют подтвердить вывод, сделанный ранее К.С. Ивановым и соавторами [8], относительно формирования описываемого блока офиолитов в условиях задугового спрединга. Это хорошо согласуется со средне-позднедевонским возрастом (382–387 млн лет), полученным нами ранее для комплекса параллельных долеритовых даек горы Азов по аксессуарным цирконам (SHRIMP II) [5, 7]. Между тем стоит отметить некоторые геохимические отличия вмещающих базальтов подушечных лав от

проанализированных долеритов комплекса параллельных даек, выраженные в пониженном содержании редкоземельных и ряда некогерентных элементов, отрицательной Eu аномалией, меньшими вариациями содержаний кремнезема и др. Казалось бы, это может быть связано с их значительно более ранним формированием и последующим попаданием в зону задугового растяжения. В другом случае, и этот вариант представляется наиболее вероятным, формирование подушечных лав происходило незадолго до формирования параллельных даек, которые внедрялись по трещинам в недавно остывшие толщи базальтов, и имели несколько отличные геохимические характеристики за счет изменения источника внедряющихся расплавов. В пользу последнего свидетельствует и практически горизонтальное, т.е. перпендикулярное к долеритовым дайкам, ненарушенное, положение слоистости в подушечных лавах, отмечаемое ранее И.В. Семеновым [16]. Впоследствии в ходе внедрения новых даек состав расплавов изменялся, о чем свидетельствуют вариации химического состава долеритов из разных даек, вплоть до появления в пакетах кислых даек дацито-андезитового состава. Вполне возможно, что в пакете параллельных даек есть и отдельные дайки, полностью идентичные по микроэлементному составу подушечным лавам, однако в ходе данного исследования они не были обнаружены.

Стоит отметить, что параллельные долеритовые дайки, близкие по геохимическим характеристикам к долеритам горы Азов, описаны на Южном Урале в пределах Аккермановско-Кирпичнинского расслоенного массива, имеющего близкий возраст 390–394 млн лет [18, 19 и др.]. Возможно, это указывает на связь в формировании параллельных даек восточного обрамления Ревдинского массива и расслоенной части офиолитовых массивов в зоне главного надвига Магнитогорской зоны.

Породы мариинского комплекса в западном обрамлении Ревдинского массива являются продуктами метаморфизма и катаклаза габбро и вулканических пород офиолитовой ассоциации, обладающих признаками как океанического, так и надсубдукционного происхождения. По повышенному содержанию TiO_2 , Ta, Nb, пониженным содержаниям Zr, Sr и ряду других геохимических характеристик (см. рис. 4, 5) они отличаются от офиолитов восточного обрамления Ревдинского массива. Кроме того, в отличие от пород восточного обрамления они значительно интенсивнее метаморфизованы – до уровня зеленых сланцев и амфиболитов. Относительно возраста пород мариинского комплекса в западном обрамлении Ревдинского массива нет однозначных данных. Традиционно они рассматривались как позднеордовикские [4] или средне-позднеордовикские образования [14 и др.]. И.В. Семеновым приводятся следующие Sm-Nd возраста для комплекса параллельных долеритовых даек из западного обрамления Ревдинско-

го массива (по всей видимости, подразумевается мариинский комплекс): для долеритов – 423 ± 17 млн лет при $\epsilon Nd = 6.4$ и $MSWD = 1.9$, для габбро – 427 ± 31 млн лет при $\epsilon Nd = +6.8$ и $MSWD = 0.72$ [17]. При этом данные приводятся только в виде диаграмм, без таблиц и остается непонятным, из какого именно обнажения и какие именно породы были проанализированы, точные привязки отсутствуют. Из представленной в указанной статье схемы [17, с. 80, рис. 3] можно только примерно определить, что обнажение находится в пределах мариинского комплекса, в районе плотины Мариинского водохранилища.

Изучению составов акцессорных хромовых шпинелей из субвулканических и вулканических пород на Среднем Урале ранее практически не уделялось должного внимания. В данной работе были проанализированы составы хромовых шпинелей из долеритов, базальтов и амфиболитов мариинского комплекса в восточном и западном обрамлении Ревдинского массива, а также проведено их сопоставление с данными по составу хромовых шпинелей из базальтов различных геодинамических обстановок. Для хромовой шпинели из долеритов и базальтов мариинского комплекса восточного обрамления была показана их близость к базальтам зон задугового спрединга, что подтвердило выводы, сделанные для этих пород на основании геохимических данных. Зерна хромовой шпинели из амфиболитов мариинского комплекса западного обрамления оказались в большей степени метаморфизованными, что в совокупности с небольшим количеством находок (только в двух пробах) не позволяет сделать надежные выводы об их сходстве или различии со шпинелями из пород восточного обрамления Ревдинского массива. Семь точек анализов, полученные из двух проб амфиболитов западного обрамления, на диаграммах (см. рис. 7) ложатся как в область составов хромовых шпинелей из пород восточного обрамления, так и за ее пределами, частично попадая на диаграмме Al_2O_3 – TiO_2 в зону базальтов СОХ. Однако такие разбросы значений могут быть следствием метаморфических преобразований.

Таким образом, породы офиолитовой ассоциации, изученные в восточном и западном обрамлениях Ревдинского массива, ранее объединявшиеся в мариинский комплекс, имеют ряд существенных геохимических различий. Вполне возможно, фрагменты офиолитов из восточного и западного обрамлений сформировались не только в разных геодинамических обстановках, но и в разное время. Подобная геохимическая неоднородность мариинского комплекса описана ранее Г.А. Петровым и В.Н. Пучковым [15] для пород обрамления Помурского и Чистопского массивов на Северном Урале, где ими были выделены долериты высокотитанистой (на западе) и низкотитанистой (на востоке) серий, разграниченных линией массивов Платиноносного пояса Урала. В дальнейшем Г.А. Пе-

тровым также отмечаются различия геохимических характеристик пород мариинского комплекса Среднего Урала, описываемого им как мариинская свита, из восточных “более островодужных” и западных “более океанических” фрагментов [13]. Исходя из представленных данных, кажется логичным расчленение мариинского комплекса по меньшей мере на две таксонометрические единицы: комплекс средне-позднедевонских задугово-спрединговых долеритов и базальтов офиолитовой ассоциации, и комплекс высокотитанистых метадолеритов, метагаббро и metabазальтов офиолитовой ассоциации, распространенные соответственно к востоку и к западу от массивов Платиноносного пояса.

Исследования выполнены при частичной поддержке проекта УрО РАН 15-18-5-15.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берзин С.В. (2013) Хромистая шпинель из долеритов параллельных даек и базальтов Полевского сегмента Тагильской зоны (Средний Урал): морфология, состав, интерпретация условий образования вулканитов. *Ежегодник-2012, Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 160*, 88-92.
2. Берзин С.В. (2014) Фрагменты офиолитов мариинского комплекса в обрамлении и в структуре Ревдинского массива (Средний Урал). *Мат-лы VII Сибирской науч.-практ. конф. молодых ученых по наукам о Земле (с участием иностранных специалистов)*. Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 8-9.
3. Берзин С.В. (2015) Офиолитовые комплексы южной части Среднего Урала. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. СПб.: НМСУ “Горный”. 20 с.
4. Бороздина Г.Н., Иванов К.С., Богоявленская В.М. (2010) Стратиграфия вулканогенных и вулканогенно-осадочных отложений Салатимской и Тагильской зон Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 152 с.
5. Иванов К.С., Берзин С.В. (2013) Первые данные о U-Pb возрасте цирконов из реликтовой зоны задугового спрединга горы Азов (Средний Урал) // *Литосфера*. (2), 92-104.
6. Иванов К.С., Берзин С.В., Ерохин Ю.В. (2012) Первые данные об U-Pb возрасте цирконов из реликтовых зон спрединга на Среднем Урал. *Докл. АН*. **443** (1), 78-83.
7. Иванов К.С., Берзин С.В., Ерохин Ю.В., Смирнов В.Н. (2012) Офиолитовые комплексы Среднего Урала. *Путеводитель геол. экскурсии Всерос. науч. конф. с междунар. участием “Геодинамика, рудные месторождения и глубинное строение литосферы” (XV чтения памяти акад. А.Н. Заварицкого)*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 39 с.
8. Иванов К.С., Ерохин Ю.В., Смирнов В.Н., Слободчиков Е.А. (2002) Рифтогенез на Среднем Урале (комплексы и структуры растяжения в истории развития Среднего Урала). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 91 с.
9. Иванов К.С., Смирнов В.Н., Ерохин Ю.В. (2000) Тектоника и магматизм коллизионной стадии (на примере Среднего Урала). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 133 с.

10. Иванов С.Н., Кориневский В.Г., Беянина Г.П. (1973) Реликты рифтовой океанической долины на Урале. *Докл. АН СССР*. **211**(4), 939-942.
11. Каретин Ю.С. (2000) Геология и вулканические формации района Уральской сверхглубокой скважины СГ-4. Екатеринбург: УрО РАН, 277 с.
12. Коротеев В.А., Семенов И.В. (2008) Влияние конвекционно-спрединговых и мантийно-плюмовых процессов в формировании химического состава базальтов и plutonических пород рифта палеоуральского океана. *Литосфера*. (5), 54-83.
13. Петров Г.А. (2006) Геология и минералогия зоны Главного Уральского разлома на Среднем Урале. Екатеринбург: УГТУ, 195 с.
14. Петров Г.А., Жиганов А.А., Стефановский В.В., Шалагинов В.В., Петрова Т.А., Овчинников Р.А., Гертман Т.А. (2011) Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист О-41 – Екатеринбург. Объяснительная записка. СПб: Картофабрика ВСЕГЕИ, 492 с.
15. Петров Г.А., Пучков В.Н. (1994) Главный уральский разлом на Северном Урале. *Геотектоника*. (1), 25-37.
16. Семенов И.В. (2000) Палеоокеанический спрединговый вулканизм Урала и реконструкция параметров Уральского палеозойского океана. Екатеринбург: УрО РАН, 362 с.
17. Семенов И.В. (2007) Влияние мантийных плюмов на сегментарность, химический состав базальтов и plutonитов рифта Уральского палеоокеана. *Геология Урала и сопредельных территорий*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 75-97.
18. Ферштатер Г.Б. (2004) О природе силурийско-раннедевонских мафит-ультрамафитовых интрузивов, ассоциированных с офиолитами Южного Урала. *Литосфера*. (4), 3-29.
19. Ферштатер Г.Б. (2013) Палеозойский интрузивный магматизм Среднего и Южного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 368 с.
20. Barnes S.J., Roeder P.L. (2001) The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks. *J. Petrol.* **42**, 2279-2302.
21. Kamenetsky V.S., Crawford A.J., Meffre S. (2001) Factors controlling chemistry of magmatic spinel: an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks. *J. Petrol.* **42**, 655-671.
22. Kuno H. (1968). Differentiation of basaltic magmas. *Basalts: the poldervaart treatise on rocks of basaltic composition*. V. 2. Interscience. N.Y., 623-688.
23. Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G. (1997) Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names. *Can. Mineral.* **35**, 219-246.
24. Mullen E.D. (1983) MnO/TiO₂/P₂O₅: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth Planet. Sci. Lett.* **62**, 53-62.
25. Otten M. T. (1984) The origin of brown hornblende in the Artfjallet gabbro and dolerites. *Contrib. Mineral. Petrol.* **86**, 189-199.
26. Sun S., McDonough W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geol. Soc., Spec. Publ.* **42**, 313-345.
27. Wood D.A. (1980) The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth Planet. Sci. Lett.* **50**(1), 11-30.

Ophiolites of Mariinsky complex at east and west frames of Revdinsky Massif

S. V. Berzin

Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

Fragments of the ophiolites of the Mariinsky complex of eastern and western framing of the Revdinskiy Massif have been compared. At the eastern framing rocks of Mariinsky complex are main dolerites of sheeted dike complex, which intruded basaltic pillow lavas, and were provenanced by back-arc spreading. This conclusion is confirmed by study of the composition of accessory chrome-spinels. Minor geochemical differences of dolerites of sheeted dike complex and basaltic pillow lavas have been demonstrated. In sheeted dike complex acidic dikes of andesite-dacites were investigated. At the western framing of the Revdinskiy Massif rocks of Mariinsky complex are main amphibolites and green schists, which were origin by metamorphism of basic rocks of the upper part of ophiolite section. Relic interlayers of cataclastic metagabbros differing from the host amphibolite by geochemical characteristics were found in the amphibolites at Mt. Lysaya. Amphibolites of the western framing of the Revdinskiy Massif are intermediate position between the oceanic basalts and back-arc spreading basalts and differ from rocks of eastern framing by some geochemical characteristics (high TiO₂, absence of highly visible Ta-Nb-minimum etc.), that indicates its origin by different geodynamic settings and probably different age.

Key word: *Mariinsky complex, ophiolites, sheeted dike complex, basalt, chromian spinel.*

REFERENCES

- Berzin S.V. (2013) Hromistaja shpinel' iz doleritov parallel'nyh daek i bazal'tov Polevskogo segmenta Tagil'skoj zony (Srednij Ural): morfologija, sostav, interpretacija uslovij obrazovaniya vulkanitov [Chrome spinel of dolerite and basalt dikes parallel Polevsky segment Tagil Zone (Middle Urals): morphology, composition, interpretation of the conditions of formation of volcanic rocks]. *Ezhegodnik-2012, Tr. IGG UrO RAN. Vyp. 160*, 88-92. (in Russian)
- Berzin S.V. (2014) Fragmenty ofiolitov mariinskogo kompleksa v obramlenii i v strukture Revdinskogo massiva (Srednij Ural) [Fragments of the Mariinsky ophiolite complex in the frame and in the structure of the array Revdinskogo (Middle Urals)]. *Materialy VII Sibirskoj nauchno-prakticheskoy konferencii molodykh uchenykh po naukam o Zemle (s uchastiem inostrannykh specialistov)*: Novosibirsk: Novosib. gos. un-t, 8-9. (in Russian)
- Berzin S.V. (2015) Ofiolitovye komplekсы южной части Среднего Урала [Ophiolite complexes southern part of the Middle Urals]. Avtoref. dis. ... kand. geol.-min. nauk. St. Petersburg, NMSU "Gornyj". 20 s. (in Russian)
- Borozdina G.N., Ivanov K.S., Bogojavlenskaja V.M. (2010) Stratigrafija vulkanogennyh i vulkanogenno-osadochnyh otlozhenij Salatimskoj i Tagil'skoj zon Urala [Stratigraphy of volcanic and volcanic-sedimentary and Salatimskoy Tagil Urals regions]. Ekaterinburg: UrO RAN, 152 s. (in Russian)
- Ivanov K.S., Berzin S.V. (2013) Pervye dannye o U-Pb vozraste cirkonov iz reliktovoj zony zadugovogo spredivinga gory Azov (Srednij Ural) [The first data about U-Pb zircon age of the relic zone back-arc spreading mountain Azov (Middle Urals)]. *Litosfera*. (2), 92-104. (in Russian)
- Ivanov K.S., Berzin S.V., Erohin Ju.V. (2012) Pervye dannye ob U-Pb vozraste cirkonov iz reliktovyh zon spredivinga na Srednem Urale [The first data about U-Pb zircon age of relic zones spreading in the Middle Urals]. *Dokl. Akad. Nauk*. **443** (1), 78-83. (in Russian)
- Ivanov K.S., Berzin S.V., Erohin Ju.V., Smirnov V.N. (2012) Ofiolitovye komplekсы Среднего Урала [Ophiolite complexes of the Middle Urals. Guide geol]. *Putevoditel' geol. ekskursii Vseros. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem "Geodinamika, rudnye mestorozhdenija i glubinnoe stroenie litosfery" (XV Chtenija pamjati akad. A.N. Zavarickogo)*. Ekaterinburg: IGG UrO RAN, 39 s. (in Russian)
- Ivanov K.S., Erohin Ju.V., Smirnov V.N., Slobodchikov E.A. (2002) Riftogenez na Srednem Urale (komplekсы i struktury rastjazhenija v istorii razvitiya Среднего Урала) [Rifting the Middle Urals (complexes and tensile structures in the history of the Middle Urals)]. Ekaterinburg: IGG UrO RAN, 91 s. (in Russian)
- Ivanov K.S., Smirnov V.N., Erohin Ju.V. (2000) Tektonika i magmatizm kollizionnoj stadii (na primere Среднего Урала) [Tectonics and magmatism collision stage (on the example of the Middle Urals)]. Ekaterinburg: IGG UrO RAN, 133 s. (in Russian)
- Ivanov S.N., Korinevskij V.G., Beljanina G.P. (1973) Relikty riftovoj okeanicheskoy doliny na Urale [Relics of the oceanic rift valley in the Urals]. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*. **211**(4), 939-942. (in Russian)
- Karetin Ju.S. (2000) Geologija i vulkanicheskie formacii rajona Ural'skoj sverhglubokoj skvazhiny SG-4 [Geology and volcanic formation region of the Ural ultradeep well SG-4]. Ekaterinburg: UrO RAN, 277 s. (in Russian)
- Koroteev V.A., Semenov I.V. (2008) Vlijanie konvekcionno-spredivingovyh i mantijno-pljumovyh processov v formirovanii himicheskogo sostava bazal'tov i plutonicheskikh porod rifta paleoural'skogo okeana [Effect of convection-spreading and mantle-plume processes in the chemical composition of basalts and plutonic rocks of the rift Paleouralian ocean]. *Litosfera*. (5), 54-83. (in Russian)
- Petrov G.A. (2006) Geologija i mineragenija zony Glavnogo Ural'skogo razloma na Srednem Urale [Geology and Minerageny Main Uralian Fault zone in the Middle Urals]. Ekaterinburg: UGU, 195 s. (in Russian)
- Petrov G.A., Zhiganov A.A., Stefanovskij V.V., Shalaginov V.V., Petrova T.A., Ovchinnikov R.A., Gertman T.A. (2011) Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossijskoj Federacii. Mashtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Serija Ural'skaja. List O-41 – Ekaterinburg [State geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 1 000 000 (third generation). Series Ural. Sheet G-41 – Ekaterinburg]. Ob'jasnitel'naja zapiska. St. Petersburg: Kartfabrika VSEGEI, 492 s. (in Russian)
- Petrov G.A., Puchkov V.N. (1994) Glavnyj ural'skij razlom na Severnom Urale. [Main Urals fault in the Northern Urals]. *Geotektonika* (1), 25-37. (in Russian)
- Semenov I.V. (2000) Paleookeanicheskij spredivingovyj vulkanizm Urala i rekonstrukcija parametrov Ural'skogo paleozojskogo okeana [Paleoceanic spreading volcanic Urals and reconstruction parameters Ural Paleozoic ocean]. Ekaterinburg: UrO RAN, 362 s. (in Russian)
- Semenov I.V. (2007) Vlijanie mantijnyh pljumov na segmentarnost', himicheskij sostav bazal'tov i plutonitov rifta Ural'skogo paleookeana [Influence of mantle plumes in the segmental, the chemical composition of basalts and plutonitov rift Ural paleo]. *Geologija Urala i sopredel'nyh territorij*. Ekaterinburg: IGG UrO RAN, 75-97. (in Russian)
- Fershtater G.B. (2004) O prirode silurijsko-rannedevonskih mafit-ul'tramafitovyh intruzivov, assotsiirovannyh s ofiolitami Juzhnogo Urala [On the nature of the Silurian-Early Devonian mafic-ultramafic intrusions associated with ophiolites of Southern Urals]. *Litosfera*. (4), 3-29. (in Russian)
- Fershtater G.B. (2013) Paleozojskij intruzivnyj magmatizm Среднего i Juzhnogo Urala [Paleozoic intrusive magmatism of Middle and Southern Urals]. Ekaterinburg: UrO RAN, 368 s. (in Russian)
- Barnes S.J., Roeder P.L. (2001) The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks. *J. Petrol.* **42**, 2279-2302.
- Kamenetsky V.S., Crawford A.J., Meffre S. (2001) Factors controlling chemistry of magmatic spinel: an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks. *J. Petrol.* **42**, 655-671.
- Kuno H. (1968). Differentiation of basalt magmas. *Basalts: the poldervaart treatise on rocks of basaltic composition*. V. 2. Interscience. N.Y., 623-688.
- Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A.,

- Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G. (1997) Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names. *Can. Mineral.* **35**, 219-246.
24. Mullen E.D. (1983) MnO/TiO₂/P₂O₅: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth Planet. Sci. Lett.* **62**, 53-62.
25. Otten M.T. (1984) The origin of brown hornblende in the Artfjallet gabbro and dolerites. *Contrib. Mineral. Petrol.* **86**, 189-199.
26. Sun S., McDonough W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geol. Soc., Spec. Publ.* **42**, 313-345.
27. Wood D.A. (1980) The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth Planet. Sci. Lett.* **50**(1), 11-30.