

ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МИНЕРАЛОВ ОЛИВИН-ШПИНЕЛЬ-ПИРОПОВЫХ ВЕБСТЕРИТОВ МИНДЯКСКОГО МАССИВА КАК ОТРАЖЕНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ЭТИХ ПОРОД

© 2017 г. Д. В. Кузнецов

Оливин-шпинель-пироповые вебстериты в составе обломков из полимиктовых брекчий массива Миндяк обнаружены Е.В. Пушкаревым, проведено геохимическое и минералогическое исследование пород, изучены составы минералов [Пушкарев и др., 2010]. Позднее рассмотрены особенности состава шпинелей в этих породах [Кузнецов и др., 2014], дана геохимическая характеристика пиропов [Кузнецов, Пушкарев, 2015], а также изучены зоны келифитизации [Кузнецов, 2014]. Изменение химического состава минералов в породе может свидетельствовать об изменении либо химического состава породы, либо термобарических условий. Для определения процессов, которым подвергались породы, мы дополнительно проанализировали составы пороодообразующих минералов пироповых вебстеритов, измерили химическую зональность этих минералов, а также провели сравнения с включениями этих минералов в пиропе. Исследования осуществлены на рентгеноспектральном микроанализаторе Cameca SX-100.

Пироповые вебстериты слагают блоки размером до 40–50 см. Породы состоят главным образом из клино- и ортопироксена, содержания которых колеблются в пределах 30–40 и 20–30% соответственно. Амфибол обычно составляет около 10–20%. Оливин в породе 5–10%, хромшпинелид, находящийся, как правило, в виде включений в пиропе, имеет содержание около 2%. Помимо хромшпинелида гранат содержит в виде небольших округлых включений клино- и ортопироксен, оливин и амфибол. Их размер 0.1–0.3 мм и мельче. Иногда включения представлены сростками нескольких минералов. Количество пироба в породе варьирует от 5 до 15%. Иногда у породы появляется текстурная полосчатость, обусловленная чередованием слоев с разным содержанием граната. На контакте пироба с оливином, ортопироксеном, клинопироксеном, наиболее часто со шпинелью возникают келифитовые реакционные зоны. Их мощность от 10 до 100 мкм. Келифиты состоят из клино- и ортопироксена, шпинели и амфибола. Минералы, слагающие келифиты, содержат меньше примесных компонентов по сравнению с таковыми в пороодообразующих минералах [Кузнецов, 2014].

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МИНЕРАЛОВ И КРАТКОЕ ПЕТРОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

Клинопироксен в шлифе бесцветный, размер зерен в среднем 1–2 мм. Иногда образует более крупные зерна до 5 мм с сетчатой текстурой, составленной двумя системами параллельных трещин. По этим трещинам происходят последующие изменения с образованием амфибола и хлорита.

Согласно номенклатуре пироксенов [Morimoto et al., 1988], по химическому составу клинопироксен из пироповых вебстеритов соответствует диопсиду (табл. 1). Его состав неоднороден как в пределах образца, так и в разных блоках (рис. 1а, б). В зернах клинопироксена наблюдается зональность, при которой в направлении от ядра зерна к его краю снижаются содержания глинозема, натрия и титана. При этом содержание кальция и магния, как правило, возрастает, а железистость изменяется неравномерно. Включения клинопироксена в пиропе отличаются по составу от наблюдаемых в пороодообразующем клинопироксене из этого же образца более высоким содержанием натрия и большей железистостью.

Составы пороодообразующих клинопироксенов из разных блоков пироповых вебстеритов варьируют. Они изменяются по средним и максимальным содержаниям Al_2O_3 , Na_2O и железистости (см. табл. 1). В клинопироксенах содержание натрия прямо коррелирует с глиноземистостью и железистостью. Клинопироксен, который претерпел амфиболлизацию и хлоритизацию, имеет пониженное содержание Al_2O_3 , а также меньше Na_2O и TiO_2 по сравнению с наблюдаемыми в неизмененных зернах.

Ортопироксен в шлифе бесцветный, слагает изометричные зерна размером в среднем 1–2 мм. В наиболее крупных зернах размером 3–4 мм отмечается замещение ортопироксена амфиболом по системе трещин.

По химическому составу относится к энстатиту [Morimoto et al., 1988]. В зернах ортопироксена наблюдается химическая зональность, выраженная в уменьшении содержания алюминия и кальция от центра зерна к его краю, при этом железистость

Таблица 1. Представительные химические анализы минералов пироповых вебстеритов, мас. %

Обр.	ПЕ-1510			ПЕ-1512			ПЕ-1507		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Компонент	Ц	К	В	Ц	К	В	Ц	К	В
SiO ₂	52.69	52.78	51.28	51.31	52.23	51.47	51.53	52.9	52.94
TiO ₂	0.37	0.35	0.33	0.30	0.25	0.30	0.36	0.20	0.23
Al ₂ O ₃	3.68	3.01	3.45	4.47	3.77	3.80	4.07	2.38	3.15
Cr ₂ O ₃	0.32	0.32	0.28	0.14	0.21	0.27	0.41	0.19	0.20
FeO*	2.51	2.49	3.02	2.89	2.81	3.25	2.88	2.74	3.33
MnO	0.06	0.08	0.01	0.07	0.09	0.06	0.14	0.15	0.07
MgO	15.66	15.94	16.96	15.55	16.07	16.07	15.99	16.27	16.23
CaO	24.01	24.29	23.58	23.69	23.75	23.11	24.27	24.94	23.81
Na ₂ O	0.36	0.29	0.66	0.91	0.76	0.98	0.34	0.16	0.51
Сумма	99.66	99.55	99.57	99.33	99.94	99.31	99.99	99.93	100.47
Fe/(Fe + Mg)	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.10	0.09	0.08	0.10
Обр.	ПЕ-1510			ПЕ-1508			ПЕ-1507	ПЕ-1510	
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Компонент	Ц	К	В	Ц	К	В			В
SiO ₂	54.92	55.62	55.28	55.15	55.85	55.02	54.92	44.61	43.59
TiO ₂	0.10	0.02	0.14	0.11	0.09	0.13	0.09	1.00	0.62
Al ₂ O ₃	3.67	2.87	2.86	4.48	3.22	4.21	3.98	13.48	13.08
Cr ₂ O ₃	0.31	0.28	0.16	0.22	0.08	0.23	0.06	1.42	0.73
FeO*	9.13	8.92	7.39	8.19	8.01	7.66	8.88	4.40	4.25
MnO	0.14	0.11	0.10	0.13	0.12	0.06	0.12	0.01	0.08
MgO	31.51	31.77	32.56	31.05	31.60	31.32	31.68	17.33	19.12
CaO	0.29	0.27	0.51	0.45	0.34	0.55	0.40	11.95	12.10
Na ₂ O	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	2.52	2.73
K ₂ O	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.11
Сумма	100.10	99.90	99.00	99.88	99.43	99.36	100.21	96.83	96.54
Fe/(Fe + Mg)	0.14	0.13	0.11	0.13	0.12	0.12	0.13	0.12	0.11
Обр.	ПЕ-1507		ПЕ-1508				ПЕ-1512		
	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Компонент		В	Ц	К	В		В		В
SiO ₂	43.54	43.37	43.63	44.01	42.82	40.84	40.21	38.50	37.99
TiO ₂	0.63	1.05	1.17	1.08	0.66	0.00	0.00	0.00	0.02
Al ₂ O ₃	14.63	15.04	14.81	14.05	15.18	0.01	0.00	0.00	0.03
Cr ₂ O ₃	0.66	0.55	0.50	0.38	0.77	0.00	0.00	0.05	0.00
FeO*	4.76	4.08	4.20	3.89	4.34	12.92	13.06	11.89	10.49
MnO	0.03	0.17	0.00	0.14	0.06	0.22	0.06	0.12	0.10
MgO	17.50	17.80	17.27	17.36	17.01	45.35	46.30	48.47	51.38
CaO	12.16	12.43	12.58	12.7	12.48	0.01	0.00	0.01	0.02
Na ₂ O	2.87	2.95	3.41	3.16	2.66	0.05	0.00	0.00	0.01
K ₂ O	0.09	0.07	0.06	0.08	0.05	0.01	0.00	0.00	0.01
NiO	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	0.45	0.35	0.46	0.35
Сумма	96.98	97.65	97.85	97.00	96.06	99.87	99.98	99.49	100.40
Fe/(Fe + Mg)	0.13	0.11	0.12	0.11	0.12	0.14	0.13	0.12	0.10

*Все железо в виде FeO.

Примечание. 1–9 – клинопироксены; 10–16 – ортопироксены; 17–23 – амфиболы; 24–27 – оливины. Н/о – элемент не определялся, Ц – центральная часть зонального зерна, К – крайняя часть зонального зерна, В – включение в пиропе. Анализы выполнены на рентгеновском микроанализаторе Cameca SX-100 (ЦКП “Геоаналитик” ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург, аналитик А.В. Михеева).

остается на том же уровне (рис. 1в, г). Включения ортопироксена в пиропе имеют большее содержание СаО и меньшую железистость по сравнению с порообразующим ортопироксеном из того же образца. Включение ортопироксена в хромшпинелиде, который в свою очередь находится в виде включения в гранате, имеет железистость и содержание

СаО, аналогичные таковым в порообразующих ортопироксенах.

Ортопироксены из разных блоков пироповых вебстеритов значительно варьируют по химическому составу (см. табл. 1). Наиболее это заметно по железистости и содержанию СаО. Ортопироксены с меньшей железистостью имеют большее количе-

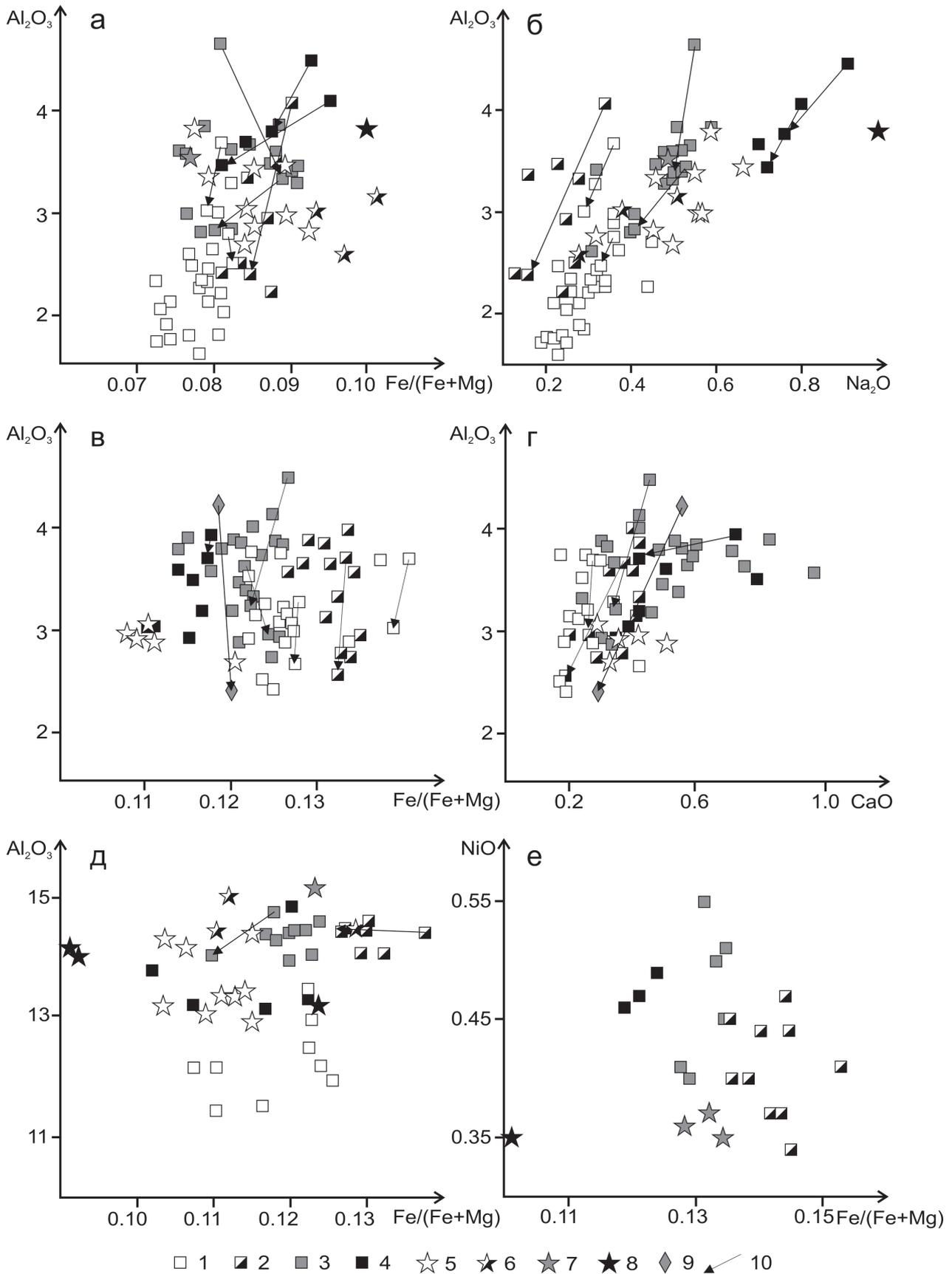


Рис. 1. Диаграммы составов минералов пироповых вебстеритов.

а, б – клинопироксен; в, г – ортопироксен; д – амфибол; е – оливин.

1–4 – породообразующие минералы из разных образцов, представляющих отдельные блоки пироповых вебстеритов в брекчиях: 1 – ПЕ-1510, 2 – ПЕ-1507, 3 – ПЕ-1508, 4 – ПЕ-1512; 5–8 – минералы, находящиеся в виде включений в пиропе из разных образцов: 5 – ПЕ-1510, 6 – ПЕ-1507, 7 – ПЕ-1508, 8 – ПЕ-1512; 9 – включение ортопироксена в шпинели из ПЕ-1508; 10 – стрелками соединены центр и край зональных зерен.

ство кальция. Зерна, подверженные вторичным изменениям с образованием амфибола по системам трещин, обладают пониженным содержанием алюминия и кальция.

Оливин в шлифе бесцветный, образует обычно небольшие ксеноморфные или изометричные зерна размером менее 1 мм. Оливин из разных блоков пироповых вебстеритов отличается по железистости, которая варьирует от 0.12 до 0.15 (рис. 1е). Включения оливина в пиропе имеют меньшее содержание NiO по сравнению с таковым в породообразующем оливине из этого же образца (см. табл. 1).

Амфибол в шлифе плеохроирует от светло-желтого до бледно-коричневого. Слагает изометричные зерна размером в среднем 1–2 мм, иногда до 4 мм. Местами замещает клино- и ортопироксен. Наличие амфибола в виде округлых включений в пиропе, не связанных с трещинами, свидетельствует о том, что он уже присутствовал в породе на момент образования граната.

По химическому составу амфибол из пироповых вебстеритов соответствует паргаситу [Номенклатура..., 1997]. Некоторые зерна амфибола имеют химическую зональность, при которой центр более железистый, с большим содержанием натрия и алюминия по сравнению с наблюдаемым в крае (рис. 1д). Часть амфибола, находящегося внутри пироба, имеет более высокое содержание глинозема по сравнению с таковым породообразующего амфибола из этих же образцов (см. табл. 1).

Амфиболы из разных блоков пироповых вебстеритов имеют химические составы, различающиеся по содержанию натрия, алюминия и железистости (см. табл. 1). Однако взаимоотношения этих параметров более сложные, чем в клино- и ортопироксене, и они не связаны между собой четкими корреляционными связями. Замещающий орто- и клинопироксен амфибол менее глиноземистый по сравнению с зернами этого минерала из основной части породы.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Пироп из оливин-шпинель-пироповых вебстеритов содержит включения шпинели, орто- и клинопироксена, оливина и амфибола. Согласно структурным наблюдениям включения в пиропе представляют собой реликты минералов, захваченные при метаморфизме. Поэтому породы до образования граната состояли из орто-, клинопироксена, оливина, шпинели и амфибола. Клинопироксен из включений в гранате относительно клинопироксе-

на из основной части породы более железистый и содержит большее количество натрия. Ортопироксен включений богаче кальцием и магнием. Включения оливина в пиропе имеют меньшее содержание никеля по сравнению с таковым в породообразующем оливине из этого же образца. Амфибол из включений более глиноземистый и обладает большим содержанием Na₂O по сравнению с наблюдаемым в амфиболе из основной части породы.

Содержание кальция в ортопироксене зависит от температуры. Используя мономинеральный термометр Брея и Кехлера [Brey, Koehler, 1990] для ортопироксенов из включений, мы получили максимальную температуру образования около 900°C, в то время как для ортопироксенов из основной части породы этого же образца рассчитанные температуры составляют менее 800°C, для редких зерен – до 860°C. Меньшее содержание алюминия и натрия в породообразующем амфиболе относительно такового в амфиболе включений также свидетельствует о его более низкой температуре образования [Плюснина, 1983]. Из сказанного следует, что парагенезис минералов, предшествующий формированию пироба и сохранившийся в виде включений в гранате, отвечает большей температуре образования относительно минералов из основной части породы.

Химическая зональность минералов из основной части породы может свидетельствовать либо об изменении термобарических условий, либо о метаморфизме под действием просачивающейся интерстициальной жидкой фазы. Ранее для ортопироксена из этих пород отмечалось уменьшение содержания глинозема от центра к краю зерна. Возникло предположение, что такая зональность может быть отражением или регрессивного снижения давления, или проявления процессов деплетирования [Пушкарев и др., 2010]. Наблюдаемое нами в клинопироксене синхронное уменьшение содержания алюминия и натрия от центра к краю зерна может свидетельствовать об уменьшении доли жадеита, связанном с понижением давления [Добрецов и др., 1971]. Меньшее количество кальция в краю зерен ортопироксена говорит о снижении температуры. Зональность амфибола, при которой от центра к краю уменьшается содержание натрия и алюминия, также свидетельствует о понижении температуры образования [Плюснина, 1983]. Таким образом, наблюдаемая зональность минералов может подтверждать регрессивное снижение давления и температуры.

Ранее Е.В. Пушкарев предположил, что образование граната в оливин-шпинель-пироповых веб-

стеритах Миндякского массива могло быть вызвано изобарическим понижением температуры [Пушкарев и др., 2010]. Наши данные о том, что минеральный парагенезис, предшествовавший возникновению пиропы, имел более высокие температуры формирования, чем минералы, находящиеся вместе с гранатом в основной части породы, подтверждают этот вывод.

Работа выполнена при финансовой поддержке инициативного проекта УрО РАН № 15-18-5-24.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Добрецов Н.Л., Кочкин Ю.Н., Кривенко А.П., Кутюлин В.А.* Породообразующие пироксены. М.: Наука, 1971. 454 с.
- Кузнецов Д.В.* Келифитизация пиропы как отражение ретроградных преобразований гранатовых перидотитов массива Миндяк на Южном Урале // Мат-лы VII Сибирской науч.-практ. конф. молодых ученых по наукам о Земле (с участием иностранных специалистов). Новосибирск: РИЦ НГУ, 2014. С. 26–27.
- Кузнецов Д.В., Пушкарев Е.В.* Геохимическая характеристика гранатов из пород массива Миндяк // Ежегодник-2015. Тр. ИГГ УрО РАН. 2015. С. 107–113.
- Кузнецов Д.В., Пушкарев Е.В., Готтман И.А.* Состав хромшпинелидов из оливин-шпинель-пироповых вебстеритов Миндякского массива // Ежегодник-2013. Тр. ИГГ УрО РАН. 2014. С. 274–278.
- Номенклатура амфиболов: доклад подкомитета по амфиболам комиссии по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации (КНМНМ ММА) // Зап. ВМО. 1997. Ч. 126, вып. 6. С. 82–102.
- Плюснина Л.П.* Экспериментальное исследование метаморфизма базитов. М.: Наука, 1983. 159 с.
- Пушкарев Е.В., Рязанцев А.В., Третьяков А.А. и др.* Гранатовые ультрамафиты и мафиты в зоне Главного Уральского разлома на Южном Урале: петрология, возраст и проблема образования // Литосфера. 2010. № 5. С. 102–133.
- Brey G.P., Koehler T.* Geothermobarometry in four-phase lherzolites II. New thermobarometers, and practical assessment of existing thermobarometers // J. Petrology. 1990. V. 31. P. 1353–1378.
- Morimoto N., Fabries J., Ferguson A.K., Ginsburg J.V., Ross M., Seifert F.A., Zussmann J.* Nomenclature of pyroxens // Min. mag. 1988. V. 52. P. 535–550.