

А. А. Алексеев, Г. В. Алексеева

СФЕНОВЫЕ ЭКЛОГИТЫ В МАКСЮТОВСКОМ МЕТАМОРФИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

В широко известном высокобарическом максютовском эклогит-глаукофансланцевом комплексе на Южном Урале типично представлены рутиловые эклогиты (среди которых выделяются умереннотитанистые и относительно высокотитанистые разновидности), эклогиты, содержащие в качестве первичного минерала роговую обманку типа барруазита или каринтина, хлоромеланитовые эклогиты, глаукофанизированные эклогиты, турмалинсодержащие и лавсонитсодержащие эклогиты [1, 4, 5, 6, 8]. Среди редких типов эклогитов нами были отмечены также графитовый эклогит, обнаруженный в некоренном залегании, сфеновые (безрутиловые) эклогиты и магнетитсодержащий эклогит [1, 2]. Описанию необычного графитового эклогита посвящена пока еще не опубликованная отдельная статья, магнетитовый эклогит из района д. Шубино отчасти охарактеризован в нашей публикации о реликтах структур распада титаномагнетита в эклогитах [3]. Настоящая статья посвящена описанию сфеновых эклогитов максютовского комплекса.

Сфеновые эклогиты как особый и самостоятельный тип рассматриваются нами в связи с отсутствием в них рутила, вместо которого в породе оксид титана «связан» в сфене (титаните). В обычных рутиловых эклогитах сфен присутствует в виде вторичного минерала по рутилу в породах, испытавших зеленокаменное перерождение, то есть регрессивный метаморфизм. В сфеновых же эклогитах сфен является первичным метаморфогенным минералом этих пород, равновесным с гранатом и омфацитом, что доказывается полным отсутствием реликтов рутила в агрегатах сфена, нередко имеющего скелетные формы выделений, и, главным образом, иногда сохраняющимися в сфене реликтовыми признаками структуры распада первичного магматического титаномагнетита в виде параллельных тонких полосок с разной густотой окраски или остаточных пластиночек не полностью замещенного магнетита.

Сфеновые эклогиты представляют собой светло-зеленые и зеленоватые от тонко- и мелкозернистых до среднезернистых породы; в тонкозернистых разновидностях по общему виду они приближаются к плотным и прочным серпентинитовидным или нефритоподобным породам. Общей особенностью сфеновых эклогитов является низкое содержание граната в относительно мелких и редких идиоморфных кристаллах размером в 1–2 мм и чаще меньше, составляющее обычно не более 5–7% от общего объема породы. Омфацит чаще всего представлен агрегатом мелкопризматических (0,05–0,1), сноповидных (до 0,5 мм) и реже относительно крупных призматических

(до 1,5–2 мм) кристаллов, составляющих не более 90% от общего объема породы.

Судя по показателям преломления ($N=1,775-1,780$) и по одному анализу монофракции (табл. 1), гранат в сфеновых эклогитах представлен в основном гроссуляр-альмандиновой разновидностью. В образце 12196 в гранате от центра к периферии кристалла содержание Mg почти не изменяется или к периферии незначительно увеличивается, в то время как содержание Fe заметно возрастает, что можно рассматривать, видимо, как зональность, отражающую в этом случае прогрессивную направленность метаморфизма. Моноклинный пироксен чаще всего представлен агрегатом сноповидных выделений размером в десятые доли мм, мелкозернистых (от 0,05–0,1 мм) или реже среднезернистых (до 1,0–1,5 мм) кристаллов с плеохроизмом в светло-зеленых тонах и как по оптическим свойствам, так и по химизму определяется как омфацит, содержащий 31–47% жадеита.

Сфен в описываемых эклогитах чаще всего представлен в мелких (0,03–0,05 мм) выделениях без кристаллографических очертаний, реже более крупных, но также ксеноморфных выделениях и иногда в их «скоплениях», напоминающих скелетные агрегаты замещенного им титаномагнетита. Нередко в сфеновых эклогитах в небольших количествах наблюдаются также мусковит, клиноцоизит и хлорит, являющиеся наложенными в регрессивный этап метаморфизма минералами. К сфеновым эклогитам относится также и упоминавшийся выше графитовый эклогит с высоким (около 15–18%) содержанием графита, в котором сфен также является минералом прогрессивного этапа метаморфизма.

По химическому составу сфеновые эклогиты отличаются от типичных рутилсодержащих эклогитов максютовского комплекса пониженной глиноземистостью и относительно повышенными содержаниями кремнезема, извести и натрия (табл. 2), с чем и связаны, видимо, некоторые особенности минералогии породы (например, низкое содержание граната и высокое — омфацита) и состава минералов (значительное содержание в гранате гроссуляра и в омфаците жадеита или эгирина и жадеита). По химизму в целом сфеновые эклогиты соответствуют магматическим породам основного состава.

Сфеновые эклогиты образуют небольшие выходы, которые чаще всего определяются как дайки, небольшие штокообразные или нектообразные тела. Пространственно они приурочены к периферии полей развития рутиловых эклогитов. В метаморфической зональности они занимают переходное положение между зонами типичных рутиловых эклогитов и лавсонитсодержащих сланцев.

Таблица 1

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ (МАС. %) ОМФАЦИТА И ГРАНАТА
ИЗ СФЕНОВЫХ ЭКЛОГИТОВ МАКСЮТОВСКОГО КОМПЛЕКСА**

Оксиды	1	2	3	Компонентный состав		
SiO ₂	56,33	54,61	39,32	Омфацит		
TiO ₂	0,05	0,40	0,25	Жадеит	46,75	31,60
Al ₂ O ₃	11,20	10,40	20,50	Эгирин	0,45	15,60
Fe ₂ O ₃	2,04	5,72	2,60	Чермакит	2,75	6,39
FeO	5,03	2,81	15,68	Геденбергит	16,94	9,36
MnO	0,05	0,27	4,60	Диопсид	28,49	30,16
MgO	4,81	6,85	1,07	Энстагит	—	6,89
CaO	12,41	11,81	15,00	Волластонит	4,62	
Na ₂ O	6,86	6,66	0,03	Гранат		
K ₂ O	—	0,03	0,05	Альмандин		38,31
П.п.п.	0,72	0,47	0,48	Пироп		4,65
Сумма	99,50	100,03	99,58	Спессартин		11,38
				Гроссуляр		37,52
				Андрадит		8,14
Количество ионов в пересчете на 12 (O) для граната и 6 (O) для омфацита						
Si	2,034	1,967	3,086	Примечание: 1 – омфацит, обр. 5664; 2 – омфацит, обр. 12196; 3 – гранат, обр. 12196. Анализы выполнены в химлаборатории ИГ УНЦ РАН З. В. Евдокимовой.		
Al	0,476	0,441	1,897			
Ti	0,001	0,011	0,015			
Fe ³⁺	0,055	0,155	0,153			
Fe ²⁺	0,152	0,085	1,030			
Mn	0,002	0,008	0,306			
Mg	0,259	0,368	0,125			
Ca	0,480	0,456	1,261			
Na	0,480	0,465	0,002			
K	—	0,004	0,002			

Если P–T-условия формирования типичных рутиловых эклогитов и жадеитсодержащих пород максютовского комплекса определяются в пределах 500–520°C и от 13–15 кбар до 25 кбар в коэситсодержащих эклогитах [5], то условия образования сфеновых эклогитов по клинопироксен-гранатовому геотермобарометру Л. Л. Перчука [7] оцениваются примерно в 9–10 кбар и 350–360°C. Оценка температуры образования обр. 12196 по формуле Эллиса–Грина [9] дает более высокую цифру 490°C при 10 кбар, а при учете суммарного железа — 460°C. В минералогическом и петрографическом и метаморфическом аспекте сфеновые эклогиты представляют промежуточное, переходное звено между рутиловыми эклогитами и зеленокаменными ортопородами, соответствуя, видимо, стадии эклогитизации при более низких термобарических условиях. При этом в одном и том же теле метабазитов можно иногда наблюдать ортопороды, в различной степени подвергшиеся эклогитизации — от локальных участков развития омфаци-

та или граната и омфацита в хлорит-эпидот-амфибол-альбитовых ортопородах через сфеновые эклогиты с реликтовыми участками или небольшими пятнами сосюритизированного плагиоклаза и хлоритизированного пироксена исходных диабазов до однородных сфеновых эклогитов. Но часто подобные процессы прогрессивной эклогитизации маскируются или полностью уничтожаются при наложении регрессивного метаморфизма с развитием более низкотемпературной и низкобарической минеральной ассоциации мусковит-эпидот (клиноцоизит)-хлорит-альбит.

Выявление сфеновых эклогитов как самостоятельного и полноправного вида в максютовском метаморфическом комплексе свидетельствует как о большом минералогическом разнообразии эклогитов метаморфических комплексов, обусловленном составом протолитов и различиями термобарических условий метаморфизма, так и проявлении в высокобарических метаморфических комплексах метаморфической зональности.

Таблица 2

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ (МАС. %) СФЕНОВЫХ ЭКЛОГИТОВ МАКСЮТОВСКОГО КОМПЛЕКСА

Оксиды	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	47,06	50,25	50,26	55,38	53,30	45,00
TiO ₂	0,50	0,68	0,67	0,69	0,70	1,01
Al ₂ O ₃	17,77	12,37	14,53	11,19	11,52	11,20
Fe ₂ O ₃	1,05	2,34	3,30	2,64	5,88	1,50
FeO	10,65	5,74	6,22	5,17	3,23	7,18
MnO	0,15	0,14	0,14	0,20	0,34	0,31
MgO	6,57	9,32	7,60	3,73	6,57	5,01
CaO	11,78	11,59	8,57	12,21	11,43	8,48
Na ₂ O	3,04	4,92	5,01	6,75	6,75	4,22
K ₂ O	0,24	Сл.	0,66	0,50	Сл.	Сл.
P ₂ O ₅	0,03	0,05	0,04	0,06	0,04	0,11
П.п.п.	1,33	2,07	2,41	0,79	0,35	0,79
Сумма	100,17	99,47	99,41	99,31	100,11	99,73 ^(*)

Примечания:

1 – эпидотизированный сфеновый эклогит с реликтами альбитизированного плагиоклаза, обр. 6589, руч. Маскырт; 2 – эпидот- и хлоритсодержащий сфеновый эклогит, обр. 6593, там же; 3 – диафторированный сфеновый эклогит, обр. 7046, р. Сакмара ниже ручья Карамала; 4 – сфеновый эклогит, обр. 5664, р. Сакмара; 5 – сфеновый эклогит, р. Сакмара в районе урочища Караяново, обр. 12196; 6 – графитовый эклогит, там же, обр. 7458.

(*) – В том числе 14,92 % С.

Анализы выполнены в химлаборатории ИГ УНЦ РАН Л. В. Жилкиной (ан. 1, 3), З. В. Евдокимовой (ан. 2, 4, 6), С. А. Ягудиной (ан. 5).

Литература: 1. *Алексеев А. А.* Типы и генезис эклогитов максютовского метаморфического комплекса (Южный Урал) в связи с некоторыми вопросами петрологии эклогитов гнейсово-сланцевых комплексов // Докл. АН СССР. 1975. Т. 224. № 6. С. 1402–1405. 2. *Алексеев А. А.* Магматические комплексы зоны хребта Урал-Тау. М.: Наука, 1976. 170 с. 3. *Алексеев А. А.* Реликты нетрансформированных структур распада титаномагнетита в эклогитах и генезис эклогитов метаморфических комплексов // Докл. АН СССР. 1983. Т. 270. № 4. С. 953–955. 4. *Добрецов Н. Л.* Глаукофансланцевые и эклогит-глаукофансланцевые комплексы СССР. Новосибирск: Наука,

1974. 429 с. 5. *Добрецов Н. Л., Соболев Н. В., Шацкий В. С.* Эклогиты и глаукофановые сланцы в складчатых областях. Новосибирск: Наука, 1989. 236 с. 6. *Ленных В. Н.* Эклогит-глаукофансланцевый пояс Южного Урала. М.: Наука, 1977. 160 с. 7. *Перчук Л. Л.* Равновесия породообразующих минералов. М.: Наука, 1970. 392 с. 8. *Чесноков Б. В.* Эклогиты Южного Урала и их практическое значение // Магматизм, метаморфизм, металлогения Урала. Т. 3. Свердловск: УФАН СССР, 1963. С. 257–263. 9. *Ellis G. J., Green D. H.* An Experimental Study of the Effect of Ca Upon Garnet-Clinopyroxene Fe-Mg Exchange Equilibria // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1979. Vol. 71, N1. Pp. 13–22.