

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.