

ЛАМЕЛИ СЕРПЕНТИНА – ПРОДУКТЫ РАСПАДА КЛИНОПИРОКСЕНА В ШПИНЕЛЕВОМ ЛЕРЦОЛИТЕ КЕМПИРСАЙСКОГО МАССИВА

© 2016 г. И. С. Чашухин, С. Л. Вотяков, Ю. В. Шапова

ВВЕДЕНИЕ

В ряде массивов альпинотипных ультрамафитов Урала нами были описаны ламели амфибола ряда эденит–паргасит – продукты высокотемпературного распада клинопироксенов шпинелевых лерцолитов, подтверждающего вхождение структурной воды в номинально безводные пироксены [3]. На приведенном в этой статье изображении шлифа в обратных электронах помимо ламелей амфибола и хромшпинели видны пластинки, более темные по сравнению с амфиболом. Было высказано предположение, что они сложены серпентином. Приведенные далее результаты микрозондового изучения пластинок подтвердили это предположение.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Электронно-скопическое и микрозондовое изучение клинопироксенов лерцолитов и гарцбургитов массивов Кемпирсайского, Войкаро-Сынбинского, Нуралинского и Среднего Крака, в которых были описаны распадные ламели амфибола, показало, что пластинки (ламели) предполагаемого серпентина обнаружены только в клинопироксенах шпинелевых лерцолитов юго-восточного блока Кем-

пирсайского массива, вскрытых структурной скважиной на глубине 1340 м ниже уровня проникновения серпентинизирующих океанических вод [2]. Тонкие (менее 2 мкм) пластинки минерала строго ориентированы под углом $\sim 65^\circ$ к спайности клинопироксена и, как правило, слагают срастания с еще более тонкими ламелями хромшпинели (рис. 1а). Эти срастания образуются после выделения ламелей амфибола. Важно отметить, что периферические части минерала-хозяина свободны от всех типов ламелей (рис. 1б).

Состав серпентина определен рентгеноспектральным методом на микроанализаторе Cameca SX100 в Центре коллективного пользования УрО РАН “Геоаналитик”. Ввиду чрезвычайной локальности исследуемого минерала надежные результаты были получены только для двух ламелей (табл. 1). Особенности состава серпентина были использованы для его идентификации. Известно, что природные серпентины – лизардиты, хризотилы и антигориты – представляют собой разные по составу минеральные виды, в первом приближении эти различия выражены в количественных соотношениях бруситовых и кремнекислородных слоев в структуре минерала [4]. Наиболее наглядно это можно продемонстрировать на диаграмме $RO^*/SiO_2 - H_2O/SiO_2$ (мол.), где

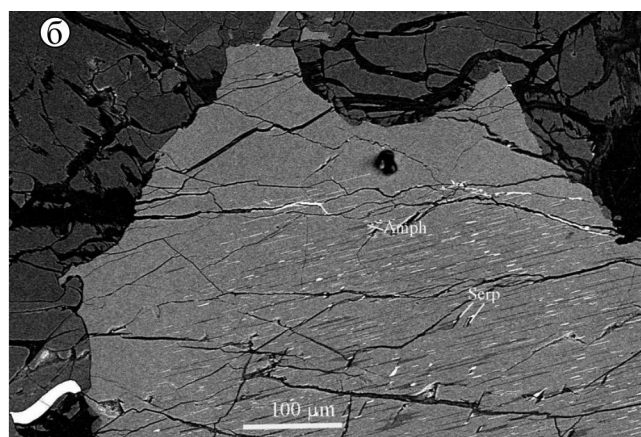
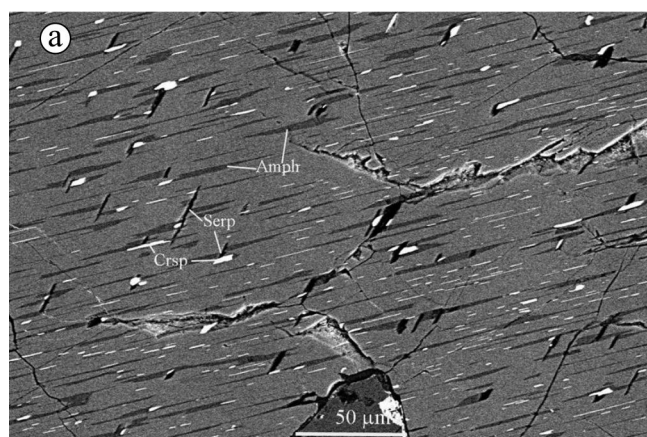


Рис. 1. Изображение в обратных электронах ламелей амфибола (Amph), хромшпинели (Sp) и серпентина (Serp) в зерне клинопироксена из шпинелевого лерцолита юго-восточного блока Кемпирсайского массива.

а – центральная часть зерна клинопироксена, б – периферическая.

Таблица 1. Химический состав ламелей серпентина в зерне порфирокласта клинопироксена в шпинелевом лерцолите Кемпирсайского массива

	Ламель	
	1	2
	Компонент, мас. %	
SiO ₂	41.32	41.69
TiO ₂	0.01	0.01
Al ₂ O ₃	1.16	2.70
Cr ₂ O ₃	0.60	0.88
FeO*	7.51	7.40
MnO	0.19	0.12
MgO	31.66	31.86
CaO	5.94	4.73
Na ₂ O	0.14	0.43
Сумма	88.53	89.82
	Количество ионов в расчете на 10 катионов	
Si	4.000	3.977
Ti	0.001	0.001
Al	0.132	0.304
Cr	0.046	0.066
Fe	0.608	0.590
Mn	0.016	0.010
Mg	4.568	4.529
Ca	0.616	0.483
Na	0.013	0.040
OH	7.407	6.478
DH ₂ O	-0.43	-1.24
RO ['] /SiO ₂	1.47	1.44
H ₂ O/SiO ₂	0.93	0.81

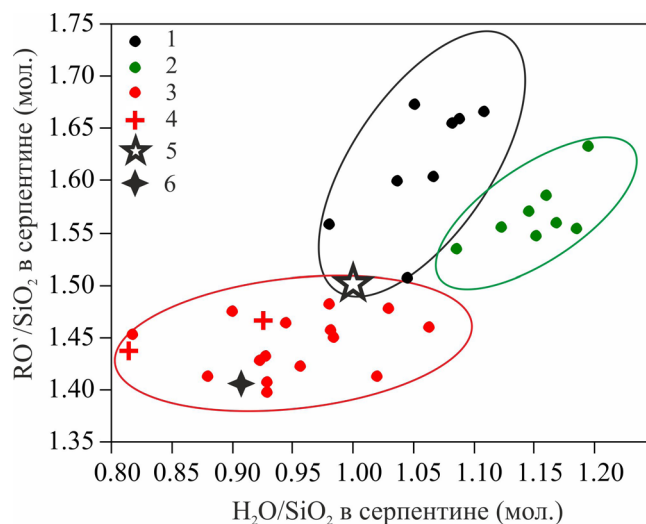
Примечание. FeO* – суммарное содержание железа в форме FeO; DH₂O – отклонение от стехиометрии количества ионов (OH)-группы в форме H₂O, мас. %; RO['] = Mg + Fe + Mn.

RO['] = Mg + Fe + Mn + Ni (рис. 2). Для ее построения использованы ранее опубликованные [1, 4] и новые данные. Составы lizardитов, хризотилов и антигоритов в этих координатах существенно отличаются от стехиометрического состава серпентина и образуют, соответственно, три неперекрывающихся поля. Наименьшие значения этих величин (RO[']/SiO₂ < 1.5, H₂O/SiO₂ < 1.1) установлены в антигоритах. На рис. 2 составы ламельного серпентина располагаются в антигоритовом поле.

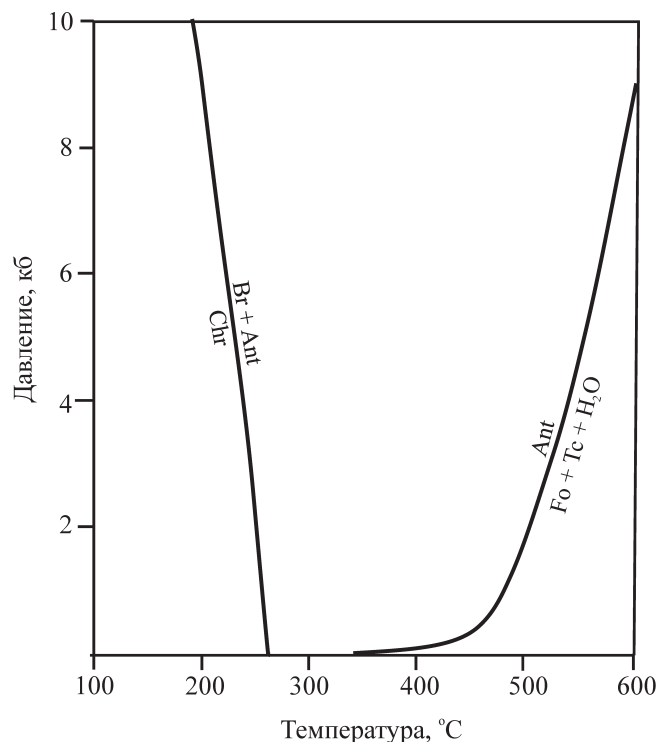
ОБСУЖДЕНИЕ

По расчетным и экспериментальным данным антигорит по сравнению с другими серпентинами является наиболее высокотемпературным минералом: при давлении 1 кб интервал его стабильности варьирует от 250°C – верхний предел устойчивости хризотила и малоглиноземистого lizardита – до 500°C [5] (рис. 3). Данные магнетит-серпентиновой кислородной изотопии [6] численно подтверждают эти оценки.

Таким образом, к продуктам распада первичного клинопироксена изученного образца помимо

**Рис. 2.** Соотношение RO[']/SiO₂ – H₂O/SiO₂ в серпентинах.

1 – петельчатый lizardит, 2 – хризотил, 3 – антигорит, 4 – ламели серпентина, 5 – стехиометрический состав серпентина 3RO[']SiO₂·2H₂O, 6 – усредненный состав антигорита [5].

**Рис. 3.** Равновесия в системе MgO–SiO₂–H₂O, рассчитанные на основе термодинамических данных R.G. Verma [5].

Chr – хризотил, Br – брусит, Ant – антигорит, Fo – форстерит, Tc – тальк.

хромшпинели и амфибола следует отнести и антигорит. О принадлежности последнего к продуктам распада первичного клинопироксена свиде-

тельствуют результаты площадного рентгеноспектрального сканирования участков клинопироксена, внутри которых помимо ламелей амфибола и хромшпинели присутствуют пластинки антигорита: восстановленный дораспадный состав этих участков практически идентичен составу матрицы клинопироксенов шпинелевых лерцолитов массива Южный Крак, свободных от ламелей амфибола, хромшпинели и серпентина [3, рис. 2].

Принадлежность серпентина к наиболее высокотемпературной разности, по-видимому, не случайна и сближает температуру образования ламелей антигорита и амфибола ряда эденит–паргасит. Анализ взаимоотношений ламелей позволяет наметить следующую последовательность их формирования: амфибол → хромшпинель → антигорит. Обнаружение распадных ламелей антигорита в мантийном клинопироксене существенно ограничивает максимальную температуру твердопластических деформаций, сформировавших современный облик шпинелевого лерцолита.

Работа выполнена в рамках программы Президиума УрО РАН, проект № 15-18-5-53 “Альпийские ультрамафиты Урала и связанное с ними хромитовое оруденение: геохимия и изотопия редких элементов, редокс-состояние Fe-, Cr-содержащих минеральных твердых растворов, ми-

нералогия микровключений” в Центре коллективного пользования УрО РАН “Геоаналитик”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вотьяков С.Л., Чащухин И.С., Галахова О.Л., Гуляева Т.Я.* Кристаллохимия лизардита как индикатор процесса ранней серпентинизации ультрамафитов. I. Особенности состава и структуры минерала по спектроскопическим данным // *Геохимия*. 2005. № 9. С. 947–965.
2. *Чащухин И.С., Вотьяков С.Л.* Кристаллохимия минералов серпентиновой группы как индикатор процесса ранней серпентинизации ультрамафитов. II. Фация и источник серпентинизирующих вод // *Геохимия*. 2005. № 10. С. 1047–1061.
3. *Чащухин И.С., Вотьяков С.Л.* Ламели амфибола – показатель вхождения воды в структуру пироксенов // *Докл. АН*. 2012. Т. 447, № 5. С. 561–564.
4. *Штейнберг Д.С., Чащухин И.С.* Серпентинизация ультрабазитов. М.: Наука, 1977. 312 с.
5. *Chernosky J.V., Berman R.G., Bryndzia L.T.* Stability, phase relation, and thermodynamic properties of chlorite and serpentine group minerals // *Hydrous phyllosilicates (exclusive of micas). Reviews in Mineralogy*. 1988. V. 19. P. 295–403.
6. *Wenner D.B., Taylor H.P.* Temperature of serpentinization of ultramafic rocks based on O¹⁸/O¹⁶ fractionation between coexisting serpentine and magnetite // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1971. V. 32. P. 165–187.