

О СЕРПЕНТИНЕ ИЗ ЮЗ ОТРОГОВ ВОСТОЧНОГО САЯНА

О. М. ГЛАЗУНОВ

(Представлена проф. А. М. Кузьминым)

На территории Восточного Саяна серпентины пользуются широким развитием. Повсеместно с ними ассоциируют такие полезные ископаемые как хромиты, асбест, титаномагнетиты.

Характеристике серпентинов посвящена обширная литература. Особенно важными являются работы В. Н. Лодочникова [8], М. Ф. Шестопалова [14], А. Ф. Коржинского [6, 7]. Однако в этих трудах описываются серпентины, генетически связанные с ультраосновными породами собственно гипербазитовой формации.

В последние годы на юго-западной окраине В. Саяна в районе верхнего течения рр. Сисима, Шинды, Сейбы стали известны образования серпентина, которые входят в состав габбро-пироксенитового комплекса, типично базальтоидного по своей природе [3]. По сравнению с гипербазитами в составе данного комплекса ультраосновные породы пространственно резко подчинены полевошпатовым дифференциатам. Они тесно перемежаются в разрезе с габбро и пироксенитами, слагая линейно-вытянутые массивы. Особенностью геохимии комплекса является аномально высокое содержание в них титана и железа, относительная бедность хромом, никелем, ванадием, отсутствие платины. Апопироксенитовые и реже апоперидетитовые серпентиниты несут повышенные концентрации титаномагнетита.

В настоящей статье автором описываются серпентины из габбро-пироксенитового комплекса, делается попытка выяснить их место в процессе образования титановых руд и подметить некоторые черты, отличающие их от серпентинов гипербазитов.

На основании исследования серпентин-содержащих пород из указанного района Восточного Саяна представляется возможным выделить две разновидности серпентина: антигорит и хризотил.

Антигорит относится к главным породообразующим минералам серпентинитов. Он слагает основную массу породы и включает зерна титаномагнетита. В форме листоватых индивидов замещает ромбический пироксен реже оливин, вследствие чего возникает решетчатая, пластинчатая и чешуйчатая микроструктура породы. Иногда листочки антигорита пронизывают вкрапленники титаномагнетита. Характер расположения серпентина в контурах замещаемых зерен различен и зависит от состава первичного минерала. При замещении антигоритом оливина формируются лучистые и перистые агрегаты. На месте пироксена ли-

сточки антигорита располагаются с образованием сетчатого узора. Как исключение наблюдаются прожилки антигорита.

По сравнению с антигоритом хризотил встречается реже в составе серпентинитов. Он образует сложнопетельчатую сетку только внутри псевдоморфоз серпентина по оливину (рис. 1). Чаше хризотилом сложены прожилки, секущие серпентиниты. По своему строению последние делятся на жилы поперечно-волоконистого хризотила и жилы с расположением волокон диагонально к зальбандам. Границы жил четкие, всегда



Рис. 1. Петельчатая структура замещения оливина хризотилом, х 65, Н ||.

прямолинейные или коленообразноизогнутые. В ряде жил устанавливаются просечки магнетита (рис. 2), реликты вкраплеников титаномагнетита с корродированными краями, а также волосовидные агрегаты магнетита, тонко переплетающиеся с хризотилом. Во многих хризотило-



Рис. 2. Просечки магнетита в прожилке хризотила, х 20, Н ||.

вых жилах по цветовому оттенку наблюдается отчетливое ленточное строение. Генезис этих ленточных структур детально освещен в работах В. Н. Лодочникова, В. Р. Артемьева, поэтому мы не останавливаемся на этом вопросе.

Макроскопически обе разновидности серпентина имеют темно-зеленый цвет, жирный блеск, в тонком сколе просвечивают в краях. Агрегаты антигорита пластинчатые, пластинчато-листовые, хризотил-тонковолокнистый с характерным муаровым погасанием.

Различный характер индивидов антигорита и хризотила иллюстрируется приведенными ниже электронными микрофотографиями (рис. 3). Из рисунков видно, что оба минерала имеют ясное кристаллическое строение, причем у антигорита достаточно четко вырисовываются трещины спайности. По мнению А. М. Кузьмина, спайность, обычно не различимая, здесь вскрывается при скольжениях.

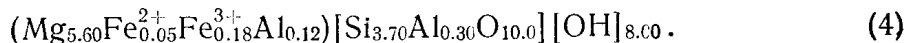
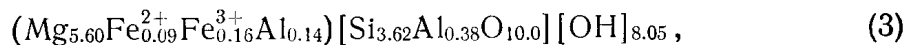
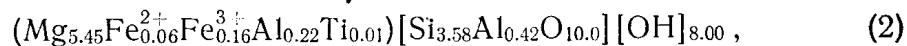
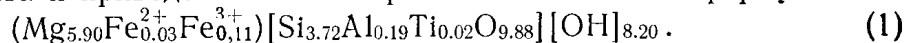
Доказываемое Б. Я. Меренковым, К. И. Толстихиной и А. А. Александровой [9] трубчатое внутреннее строение хризотила нашими исследованиями не подтверждается.

В прозрачных шлифах антигорит и хризотил бесцветные или светло-зеленые, не плеохроируют, интерферируют в серых тонах.

Из-за отсутствия у изучавшегося минерала определенных кристаллографических ограничений и трудности подобрать необходимые сечения надежные определения углов оптических осей получить не удалось. Несмотря на то, что плоскость оптических осей хризотиллов обычно располагается вдоль волокнистости, для измерения показателя преломления в иммерсии нами отбирались изотропные сечения. $N_g \approx N_m$ антигорита по ряду замеров в среднем равно 1,568, то есть всего на 0,005 ниже соответствующих нормативных значений для антигорита [13, 16]. N_m Лысанского хризотила (1,558—1,564) также незначительно превышает табличные данные.

Химическая характеристика получена только для жильных проявлений хризотила, предварительно очищенных от магнитной фракции и других посторонних примесей.

По составу анализированные серпентины в общем незначительно отличаются друг от друга. В этом можно убедиться, сравнивая результаты анализа и приведенные ниже кристаллохимические формулы.



Устанавливается почти одинаковая степень изоморфного замещения магния железом и сходство тетраэдрического слоя разных серпентинов. В то же время обращает на себя внимание вхождение в состав минерала алюминия в количестве до 1/7 части кремнезема. Подобное соотношение считается для серпентина не совсем обычным (табл. 1).

По данным Хесса Денго, Смита [17], алюминий необходим для образования антигорита, а в хризотиле практически отсутствует.

В противоположность этому взгляду другие исследователи [18] склонны считать глинозем обязательной частью всех серпентинов.

Присутствие алюминия в Лысанском хризотиле можно объяснить тем, что минерал развивается за счет ромбических пироксенов, а не оливина. Вероятно, алюминий частично замещает магний, находящийся в дефиците.

Содержание магния в жильных серпентинитах на 1—2% ниже теоретического (табл. 1) и в то же время в 1,5—2 раза выше, чем во вмещающих серпентинитах. Из элементов-примесей в серпентине спектроскопически зарегистрированы Ga, Ti, V, Ni, Co, Cr, Zn, Cu, Ba, Sr (табл. 2). Максимальное содержание элементов приходится на хризотил. Антигорит заметно обеднен примесями, что, по-видимому, необходимо связывать с явлением автолизии минерала, происходящем в процессе перекристаллизации.

При расшифровке дебеграмм выяснилось, что только тонковолокнистый жильный серпентин имеет полное сходство с хризотилом. В других



Рис. 3 а.



Рис. 3 б.



Рис. 3 в.

Рис. 3. Серпентин под электронным микроскопом:
а) антигорит, б) антигорит, в) хризотил. Метод суспензий, увеличение 12000 раз.

Таблица 1

Окислы	А н а л и з в в е с о в. % %						
	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	38,60	37,78	38,18	39,19	42,24	41,13	44,1
TiO ₂	0,29	0,20	0,19	0,28	—	0,04	
Al ₂ O ₃	1,74	5,77	4,76	3,80	0,36	1,08	
Fe ₂ O ₃	2,56	2,33	2,20	2,62	0,17	2,90	
FeO	0,40	0,89	1,17	0,70	0,42	—	
MnO	—	0,029	—	0,02	—	—	
MgO	41,24	38,55	39,29	39,72	42,62	40,71	43,0
CaO	0,20	0,10	нет	0,01	—	0,13	
Na ₂ O	нет	нет	нет	нет	—	сл.	
K ₂ O	нет	нет	нет	нет	—	—	
Cr ₂ O ₃	нет	нет	нет	нет	—	—	
V ₂ O ₅	0,07	0,08	0,05	0,10	—	—	
P ₂ O ₅	—	0,02	—	нет	—	—	
H ₂ O ⁺	13,16	12,56	12,67	12,58	13,39	13,48	12,9
H ₂ O ⁻	0,34	0,82	0,59	0,86	0,16	1,03	
Ni	—	0,034	—	0,02	—	—	
Co	—	—	—	сл.	—	—	
Zn	0,02	0,030	0,02	0,10	—	—	
S	—	сл.	—	—	—	—	
Сумма	98,62	99,38	99,32	100,00	99,36	100,55	100,00
N _m	1,568	1,564	1,558	1,564	—	1,547	

Результаты химического анализа серпентина

- 1—Антигорит жильный. Восточный Саян. Обр. РК-16-10 с.
 2, 3, 4—Хризотил тонковолокнистый, жильный, там же; 2—обр. 218; 3—обр. 219;
 4—обр. РК-16-9.
 5—Антигорит из восточной части Восточного Саяна (по А. Ф. Коржинскому, 1959);
 6—Хризотил-асбест Актотракского месторождения. Тува (по В. П. Еремееву, 1959).
 7—Идеальный состав серпентина (по А. Г. Бетехтину, 1953).

образцах наряду с дифракционными линиями хризотила обнаруживаются линии, присущие антигориту. Вместе с тем, не устанавливается полной аналогии этих дебеграмм с эталонными дебеграммами антигоритов (табл. 3).

Следовательно, полученные нами экспериментальные данные рентгеновского и химического анализа не позволяют сделать определенные выводы относительно особенностей состава и внутренней структуры разных модификаций Лысанских серпентинов, как, впрочем, некоторые аналогичные измерения [17] не дают оснований для окончательных заключений в этом направлении. В порядке постановки вопроса можно предполагать об отсутствии разницы в структуре хризотила и антигорита.

В то же время известно, что обе модификации серпентина по-разному реагируют при нагревании (рис. 4). Эта черта может быть использована с целью их диагностики. Выделение конституционной воды у исследуемых антигоритов происходит при более высокой температуре (700—750°) и в течение более длительного времени, нежели у хризотила,

дегидратация которого ограничивается интервалом 650—700°. Кроме того, у антигорита, при нагревании, видимо, менее активно происходит реакция образования ортосиликата, о чем свидетельствует слабый экзотермический эффект при температуре 900° (рис. 4).

Переходя к сопоставлению, отметим, что серпентины из западных отрогов В. Саяна имеют почти тождественный состав с аналогичными

Таблица 2

№ п. п.	Число опр.	Fe	Ti	Cr	V	Ni	Co	Mn	Pb	Cu	Zn	Ga	Ba	Sr
1	2	п	0,01		0,01	>0,1	—	0,01	—	0,003	0,03	сл.	сл.	сл.
2	3	п	сл.	—	сл.	0,01	сл.	—	—	сл.	0,01	сл.	сл.	сл.
3	2	п	0,01	—	сл.	0,01	сл.	—	—	сл.		—	сл.	сл.
4	2	п	0,03	0,001	сл.	0,03	0,01	0,03	—	0,01	0,03	сл.	сл.	сл.
5	1	п	0,1	0,01	0,001	0,001	0,001	сл.	—	0,01	0,02	сл.	—	—
6	1	п	—	сл.	0,003	0,001	0,003	0,001	—	0,01	0,01	0,01	—	—
7	3	п	0,2	—	0,1	0,01	сл.	0,01	—	0,01	0,1	сл.	—	—

Результаты спектрального анализа серпентина

1. Антигорит из серпентинитов (обр. рк-16-7). 2. Антигорит жильный (обр. 222).
3. То же, обр. рк-16-11^а). 4, 5, 6, 7—хризотил жильный, обр. 218, 219, 220, рк-16-9^а)

ПРИМЕЧАНИЕ: п—целые проценты; сл.—0,001;—элемент не обнаружен.

минералами Союза и зарубежных стран. В то же время им присуща некоторая специфичность в отношении набора элементов-примесей, которая отражает общую геохимическую специализацию магматического комплекса. В частности, по сравнению с серпентинами известных Баженовского, Алапаевского (Урал), Актавракского (Тува) [1; 4] месторождений изучавшиеся минералы несут более высокое содержание Ti, Fe, Al и пониженное — Si, Mg, Cr, Ni. Эти же особенности состава отличают данные серпентины от серпентинов восточной части В. Саяна, которые принадлежат к собственно гипербазитовому типу и обычно обогащены хромом, никелем, магнием [6].

Следует остановиться на вопросе о связи серпентинов с процессом образования титаномагнетитовых руд. В результате изучения минералогии месторождения установлено, что повышенные концентрации титаномагнетита в серпентинитах относятся к позднемагматическим (фузивным по А. Н. Заварицкому), формируясь после кристаллизации ромбического пироксена и оливина.

Единственным рудным минералом, синхронным антигориту вмещающих пород, является магнетит. Он проявляется обычно в виде тонких цепочек, ветвящихся шнурочков-просечек и в виде «волосовидных» агрегатов, а также шаровидных скоплений концентрического строения. Магнетит этой генерации имеет минералогическое значение.

По представлению Б. Я. Меренкова [11] и П. Риордон [19] «волокнистый» магнетит образуется за счет железа, высвободившегося в период серпентинизации.

При анализе же особенностей локализации вкрапленников титаномагнетита нигде не наблюдается прямой зависимости между степенью серпентинизации породы и насыщенностью ее титаномагнетитом. Что же касается жил хризотила, то они повсеместно пересекают антигоритовые

серпентиниты с вкрапленниками титаномагнетита, не оказывая при этом на титаномагнетит видимого воздействия.

1. Итак, серпентизация пород габбро-пироксенитового комплекса в западной части Восточного Саяна происходила по крайней мере в две разобщенные во времени стадии — массовую и прожилковую.

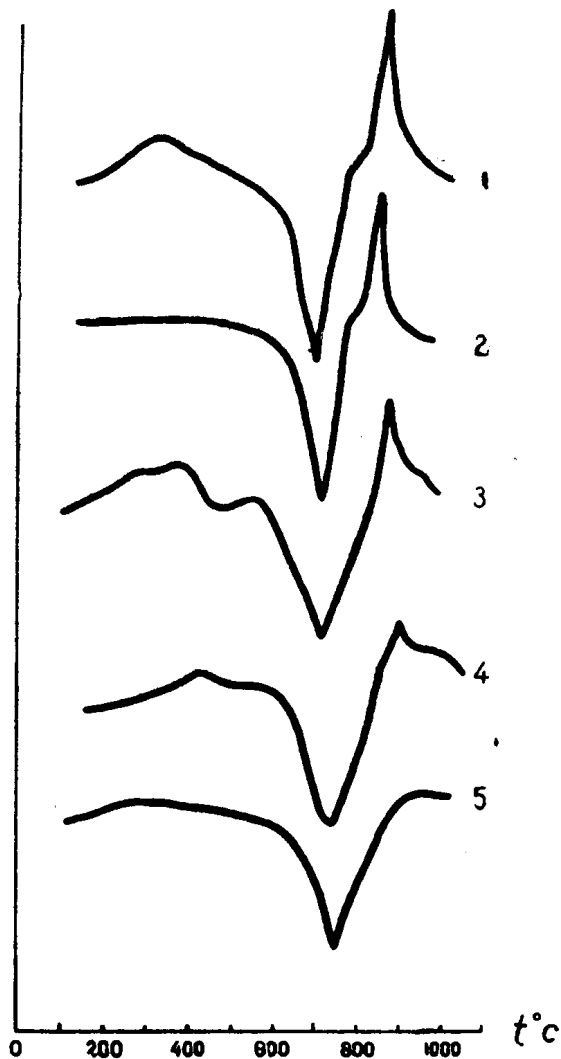


Рис. 4. Кривые нагревания серпентина: 1 — Хризотил. В. Саяны, обр. 218, 2 — Хризотил (по Сердюченко, 1953), 3 — антигорит из серпентинитов, В. Саяны, обр. 12007, 4 — антигорит из жил. В. Саян, обр. 222, 5 — антигорит (по А. Ф. Коржинскому, 1959).

2. Массовая серпентинизация завершилась преобразованием бронзитов и перидотитов в антигоритовые серпентиниты в условиях больших давлений.

3. Проявления прожилковой серпентинизации (хризотил) выполнили трещины отдельности, возникшие в массиве позже.

4. Близость химического состава различных образцов жильного хризотила и антигорита свидетельствует о происхождении их от единого источника в стадию автометаморфизма и гидротермального процесса становления интрузии.

5. Основываясь на результатах рентгеновского анализа, можно предположить, что между антигоритом и хризотилом в структурном отношении не существует принципиальной разницы.

6. Серпентин из габбро-пироксенитового комплекса характеризуется рядом специфических особенностей состава (высокое содержание Al, Ti, дефицит Mg, низкое содержание Cr, Ni), которые отражают геохимическую специализацию комплекса.

Таблица 3

I	1		2		3		4		5				
	$\frac{d_\alpha}{n}$	$\frac{d_\beta}{n}$	I	$\frac{d_\alpha}{n}$	I	$\frac{d_\alpha}{n}$	$\frac{d_\beta}{n}$	I	$\frac{d_\alpha}{n}$	$\frac{d_\beta}{n}$			
5	(7,9) _β	7,2						5	(7,9) _β	7,2	4	(7,98) _β	7,23
10	7,2		10	7,24	9	7,1		10	7,2		8	7,21	
3	4,55		4	4,61	3	4,55		3	4,51		6	4,45	
5	(3,98) _β	3,61	1	3,87	3	(3,97) _β	3,60	4	3,96		4	(4,002) _β	3,627
10	3,62		10	3,61	9	3,60		10	3,60		10	3,603	
1	(2,73) _β	2,47			2	2,60	2,45				1	2,71	
1	2,61		9	2,59									
8	2,51		2	2,52	1	2,50		8	2,51		6	2,57	
5	2,45		2	2,44	9	2,45		7	2,46		3	2,437	
3	2,33		1	2,225	2	2,28							
3	2,15		7	2,157				3	2,16				
4	2,08				6	2,084		3	2,083		1	2,080	
4	1,958				2	1,912		1	1,92				
2	1,790		4	1,82							2	1,810	
			3	1,777	7	1,734		3	1,734		1	1,720	
3	1,739		3	1,738	6	(1,69) _β	1,540	5	(1,698) _β	1,539	2	(1,679) _β	1,522
9	(1,697) _β	1,538			1	1,538							
9	1,536		5	1,534	10	1,537		10	1,537		8	1,520	
3	1,501				5	1,504		3	1,506				
3	(1,447) _β	1,311	1	1,456	2	(1,447) _β	1,300	2	(1,444) _β	1,308	2	1,452	
3	1,407				4	1,319		6	1,311				
2	1,373				8	1,301		6	1,294		4	1,299	
7	1,309		1	1,312	2	1,266							
1	1,269		2	1,270	2	1,199		1	1,202		2	1,212	
			1	1,258	1	(1,006) _β	0,994						
2	1,211		2	1,207	2	1,083		1	1,070				
1	1,162		1	1,167	1	1,050		2	1,049				
1	(1,098) _β	0,99			7	0,935		3	0,995				
1	1,072		1	1,075									
2	1,052		1	1,051									
6	0,995		1	1,036									

Таблица межплоскостных расстояний серпентина

1—Антигорит жильный Восточный Саян (Обр. рк-16-10°).

2—Антигорит. Новая Зеландия (Михеев, 1957)

3, 4—Хризотил жильный. Восточный Саян. (3— обр. 218, 4—обр. 219).

5—Хризотил. Челмсфорд (Михеев, 1957)

7. Процесс серпентинизации пород непосредственно не связан во времени с выделением практически интересных локализаций титаномagnetита. Кристаллизация последних происходит, видимо, независимо от серпентинизации и предшествует ей.

Эти выводы находятся в соответствии с теоретическими представлениями Д. С. Коржинского [5] и А. Г. Бетехтина [2] о ходе автометаморфизма ультраосновных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Р. Артемьев. Ультрабазиты восточного склона Ю. Урала и их асбестоносность. Автореф. канд. дисерт., ВСЕГЕИ, 1958.
2. А. Г. Бетехтин. О метаморфических породах, образующихся за счет ультраосновных изверженных пород. В кн. *Вопр. минерал. и петрографии*, в 1, Изд. АН СССР, 1953.
3. О. М. Глазунов. Лысанский габбро-пироксенито-серпентинитовый комплекс в зап. части В. Саяна. *«Геология и геофизика»*, № 3, 1961.
4. В. П. Еремеев. Петрография и генезис Актонракского месторождения хризотил-асбеста. *Тр. инст. геол. рудн. месторожден. петр., минерал., геохимии*, в. 31, 1959.
5. Д. С. Коржинский. Подвижность и инертность компонентов при метасоматозе. *Изв. АН СССР, сер. геол.*, № 1, 1936.
6. А. Ф. Коржинский. Термооптическое исследование некоторых хлоритов В. Сибири. *Зап. Сибир. отд. ВМО*, в. 1, 1959.
7. А. Ф. Коржинский. Термооптические исследования водных магнезиальных силикатов Оспинского гипербазитового массива в Восточном Саяне. *Тр. ин-та геолог. ВСФАН СССР*, в. 8, 1958.
8. В. Н. Лодочников. Серпентины и серпентиниты Ильчирские и др. *Тр. ЦНИГРИ*, в. 38, 1936.
9. Б. Я. Меренков, К. И. Толстихина, А. Л. Александрова. Значение электронно-микроскопического изучения хризотил-асбеста и серпентина для решения вопроса их генезиса. *Тр. инст. геол. рудн. месторожд., петрограф., минерал., геохимии*, в. 31, 1959.
10. В. И. Михеев. Рентгенометрический определитель минералов, 1957.
11. Б. Я. Меренков. О волокнистом жильном магнетите из Баженовского месторождения хризотил-асбеста. *Тр. инст. геол. рудн. месторожд. петр. минерал., геохимии*, в. 31, 1959.
12. Д. А. Сердюченко. Хлориты, их химическая конструкция и классификация. *Тр. инст. геол. наук*, в. 140, сер. минерало-геохим. № 14, 1953.
13. В. Е. Трегер. Таблицы для оптического определения породообразующих минералов. Госгеолтехиздат, 1958.
14. М. Ф. Шестопалов. Ультраосновной массив Китайских Альп Восточного Саяна и связанные с ним месторождения. *Сб. работ по камням и самоцветам*, в. 4, 1938.
15. V. Marto. Serpentinities of central Sierra hione. *Bull. de la commis. geol. de Finl.* № 180, 1959.
16. Niggly. *Lehrbuch der Mineralogie*, 1926.
17. H. H. Hess, G. Dengo, R. J. Smith. Antigorite from vicinity of Caracas, Venezuela. *Amer. Miner.* v.37, № 1—2, 1952.
18. Roy Della, Roy Rustam. Studies in the system $MgO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$. *Bull. Soc. Amer.* v. 63, p. 1294, 1952.
19. P. H. Riordon. The genesis of asbestos in ultrabasic rocks. *Econ. Geol.* v. 50, № 1, 1955.