

Л. П. КАРСАКОВ

**ПИРОП-БРОНЗИТ-СИЛЛИМАНИТОВЫЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ
СЛАНЦЫ ВОСТОЧНОГО СТАНОВИКА И УСЛОВИЯ
ИХ МЕТАМОРФИЗМА***(Представлено академиком В. С. Соболевым 18 II 1972)*

Ассоциация ортопироксена с силлиманитом встречается в метаморфических комплексах крайне редко. Ее устойчивость связана с высоким давлением и температурой (⁶, ⁹), и поэтому она представляет значительный интерес для изучения физических условий в глубинных частях земной коры. В литературе описан лишь гиперстен-силлиманитовый парагенезис. Нами в 1962 г. в низовьях рек Ток и Сивакан обнаружены пироп-бронзит-силлиманитовые и кордиерит-гранат-бронзит-силлиманитовые кварцсодержащие кристаллические сланцы.

Рассматриваемые бронзит-силлиманитовые сланцы встречены в породах гранулитового комплекса, названного нами чогарским. Этот комплекс объединяет метаморфизованные осадочно-вулканогенные образования (эклогитоподобные и другие сланцы основного состава, высокоглиноземистые гнейсы и сланцы, гранатовые гранулиты, кварциты, кальцифиры), основные и ультраосновные породы и чарнокитовые и другие гранитоиды. Породы чогарского комплекса обнажаются среди позднеархейских образований станового комплекса в виде глыб глубоко переработанного фундамента. Недиафторированные участки в глыбах сохраняются редко. Наиболее крупными глыбами чогарского комплекса являются Чогарская, расположенная в междуречье Май-Половинной и Уды, и Сивакано-Токская в низовьях одноименных рек. Абсолютный возраст пород чогарского комплекса еще не определен, но первые данные для пироксена (обр. № 19^н/68) показали 3000 ± 120 млн лет (K—Ar-метод, лаборатория Института геологии и геохронологии докембрия). Геология раннеархейских образований глыб более подробно рассмотрена в других работах автора (³, ⁴). Здесь отметим лишь, что бронзит-силлиманитовые сланцы залегают в виде прослоев и линз мощностью от сантиметров до нескольких десятков метров среди пироксеновых кварцитов, гранатовых гранулитов и эклогитоподобных сланцев, включающих также линзы и тела ультраосновных пород и кальцифиров.

Внешне бронзит-силлиманитовые сланцы представляют собой крупнозернистые темные буровато-серые породы с равномерным или полосчатым распределением минералов. Сложены они бронзитом, силлиманитом, гранатом, кварцем и кордиеритом. В качестве второстепенных минералов присутствуют калишпат, плагиоклаз, биотит, а из аксессуарных — рутил, циркон, магнетит, шпинель. Структура их гранонематобластовая, при наличии кордиерита — венцовая. Бронзит образует тесные срастания с силлиманитом (обр. № 19^н/68) или отделен от него кордиеритовой каемкой (обр. № 19^н/65). Содержит округлые или закругленные чешуйки биотита и зерна силлиманита, плагиоклаза, кварца. Часто в бронзите наблюдается редкая сетка тонких включений, напоминающая структуру распада. Бронзит имеет резкий плеохроизм от зеленого (N_g) до красно-бурого (N_p). Химические анализы (%) бронзитов и гранатов приведены в табл. 1. Особенностью состава бронзита является высокое содержание глинозема

и чермакита (~24%), низкая железистость. Содержание Al_2O_3 в обр. № 19^H/68 превышает все известные для ортопироксенов (2).

Гранат малиновый, образует или трещиноватые зерна с округлыми включениями кварца, бронзита, силлиманита, рутила, редко светло-бурого биотита, магнетита и в одном случае зеленой шпинели, или же скелетные зерна от замещения кордиеритом. Гранаты характеризуются высокой магнетизальностью. В гранулитовых комплексах обычно преобладает альмандин, а в обр. № 19^H/68 содержание пирона достигает 55%:

	Пирон	Альмандин	Гроссуляр	Спессартин	Андрадит
Обр. № 19 ^H /68	55,0	40,0	4,5	0,5	—
Обр. № 19 ^M /65	45,0	51,7	—	0,3	3,0

На сводной диаграмме для гранатов (7) точка состава обр. № 19^H/68 несколько выходит за поле этой фации.

Судя по сводке Н. В. Соболева (7), гранат из обр. № 19^H/68 не имеет аналога среди гранат-гиперстеновых пород. Силлиманит слагает призматические кристаллы длиной до 1–1,5 см, иногда располагающиеся в виде радиально-лучистых агрегатов в плоскости сланцеватости породы; $N_g=1,681$; $N_p=1,658$. Кордиерит как первичный равновесный минерал не встречается, а появляется местами как реакционный минерал вокруг граната, образуя гиперстен-кордиеритовые, кварц-кордиеритовые симплекти-

Таблица 1

	Обр. № 19 ^H /68		Обр. № 19 ^M /65	
	гранат	бронзит	гранат	бронзит
SiO ₂	39,32	49,61	39,90	47,64
TiO ₂	0,22	0,26	0,09	0,25
Al ₂ O ₃	23,10	12,00	21,17	9,18
Fe ₂ O ₃	0,40	0,90	0,85	0,90
FeO	19,30	10,80	24,25	17,28
MnO	0,25	Сл.	0,15	0,07
MgO	14,98	25,08	11,90	23,28
CaO	1,88	0,44	0,10	0,75
Na ₂ O	0,03	0,02	0,12	0,08
K ₂ O	0,02	0,04	0,26	0,24
H ₂ O ⁺	0,24	0,40	0,12	0,12
Сумма	99,74	99,55	99,91	99,79
N	1,755	—	1,776	—
N_g	—	1,701	—	1,715
N_p	—	1,685	—	1,700
Fe				
Fe+Mg, %	42,4	20,6	54,1	30,4
Аналитики	В. Д. Бугрова, Е. Е. Зевелева, Р. А. Соколова			

Кристаллохимические формулы

Гранат из обр. № 19^H/68: $(Mg_{1,66}Fe_{1,20}^{2+}Ca_{0,15}Mn_{0,02}Fe_{0,02}^{3+})_{3,05}Al_{2,03}(Si_{2,92}Ti_{0,01})_{2,93}O_{12}$.

Бронзит из обр. № 19^H/68: $(K_{0,002}Na_{0,001}Ca_{0,017})_{0,02}Mg_{1,325}Fe_{0,321}^{2+}Fe_{0,02}^{3+}Ti_{0,907}Al_{0,232})_{1,97} \cdot (Si_{1,76}Al_{0,24})_{2,00}O_6$.

Гранат из обр. № 19^M/65: $(Mg_{1,35}Fe_{1,55}^{2+}Ca_{0,09}Mn_{0,01})_3(Al_{1,97}Fe_{0,07}^{3+})_{1,97}(Si_{2,99}Ti_{0,01})_3O_{12} + Si_{0,05}$.

Бронзит из обр. № 19^M/65: $(K_{0,011}Na_{0,006}Ca_{0,03})_{0,05}(Mg_{1,275}Fe_{0,532}^{2+}Fe_{0,025}^{3+}Mn_{0,002}Ti_{0,007} \cdot Al_{0,149})_{1,99}(Si_{1,75}Al_{0,25})_{2,00}O_6$.

Примечание. Обр. № 19^H/68 — гранат-бронзит-силлиманит-кварцевый сланец, р. Ток; № 19^M/65 — биотит-кордиерит-гранат-бронзит-силлиманит-кварцевый сланец, р. Ток.

ты, или же вокруг силлиманита. Нередко образование кордиерита сопровождается появлением в породе калишпата, иногда мелких чешуек биотита. У кордиерита $N_g = 1,552$; $N_p = 1,545$. Кварц составляет основную массу породы, часто содержит мельчайшие иголки рутила (?).

Таким образом, составы минералов описываемых сланцев своеобразны и не имеют аналогов в описанных в литературе парагенезисах ортопироксен — силлиманит. Поскольку они фиксируют условия образования минералов, интересно сопоставить наши наблюдения в природных парагенезисах

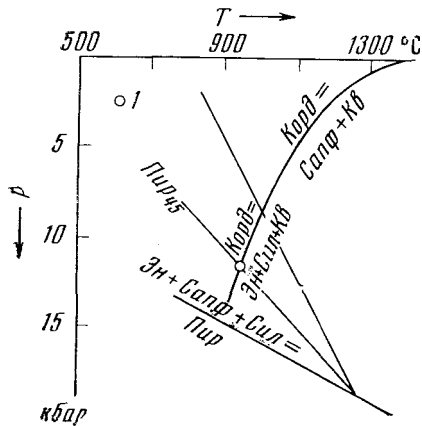


Рис. 1. Экспериментальные кривые устойчивости пиропы, альмандина и магнезиального кордиерита. Точка относится к обр. № 19^м/68

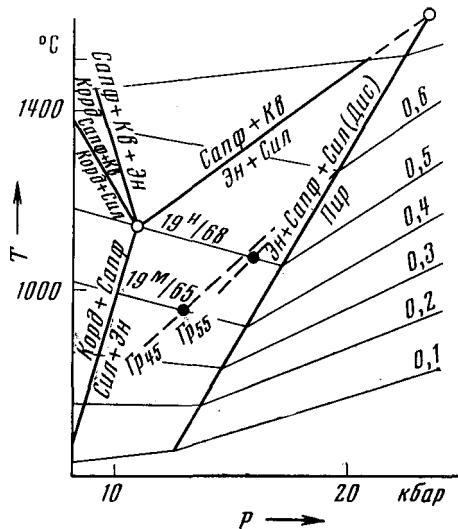


Рис. 2. Деталь $P-T$ -диаграммы системы $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ (по Н. Л. Добрецову). Тонкие линии — изолинии содержания Al в ортопироксене: 0,1; 0,2 и т. д. — на шесть атомов кислорода

с имеющимися экспериментальными данными и оценить условия метаморфизма пород чогарского комплекса. На рис. 1 показаны результаты экспериментального изучения устойчивости магнезиального кордиерита, пиропы и альмандина (^{1, 8, 10, 11}). Если нанести на эту диаграмму линию граната обр. № 19^м/65 с содержанием пиропы 45%, то она пересечет кривую устойчивости кордиерита в точке $P = 11,3$ кбар и $T = 950^\circ$. Поскольку в этом образце наблюдается превращение алюмобронзит + силлиманит + кварц → кордиерит, названные P и T отражают условия данной реакции. Очевидно, что метаморфизм пород чогарского комплекса происходил при еще высоких давлениях и температуре. Условия их прогрессивного метаморфизма можно оценить по содержанию Al_2O_3 в бронзите из парагенезиса с пиропом в обр. № 19^м/68, в котором нет кордиерита и не наблюдается реакционного замещения минералов. Для этого мы воспользуемся $P-T$ -диаграммой системы $MgO-Al_2O_3-SiO_2$, предложенной Н. Л. Добрецовым (²). На ней (рис. 2) показаны изолинии содержания Al в маложелезистых ортопироксенах, примерно соответствующие экспериментальным данным Хенсена и Эссена * (¹²). По этой диаграмме с учетом содержания в гранате 55% пиропы, а в бронзите 0,5 формульных единиц Al получим для обр. № 19^м/68: $P = 16$ кбар и $T = 1070^\circ$. Следовательно, породы чогарского комплекса метаморфизованы в условиях бескордиеритовой субфации (гранулитовой фации) при высоком давлении и на большой глубине. По глубинности условий образования чогарский комплекс превосходит сутамскую субфацию, наиболее глубинную из известных в настоящее

* По экспериментальным данным оценки давления будут на 1,5—2 кбар ниже.

время, в которую объединены метаморфические комплексы с наиболее магнезиальными ассоциациями граната и кордиерита (⁵). В породах чогарского комплекса кордиерит вообще не устойчив.

Учитывая совокупность приведенных выше данных, можно полагать, что ниже сутамской субфации глубинности следует выделить еще одну — чогарскую, отвечающую переходу от гранулитовой фации к эклогитовой. Соответствующие ей условия могли возникать, по-видимому, в основании континентальной коры. Благодаря постоянной тенденции Становой глыбово-складчатой области к воздыманию — с конца раннего протерозоя до наших дней — глубинные породы чогарского комплекса подверглись значительной эрозии и оказались лежащими на поверхности.

Дальневосточное территориальное
геологическое управление
Хабаровск

Поступило
24 I 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Ф. Р. Бойд, Дж. Л. Ингланд, В сборн. Вопросы теоретической и экспериментальной петрологии, ИЛ, 1963. ² Н. Л. Добрецов, Ю. Н. Кривенко и др., Породообразующие пироксены, «Наука», 1971. ³ Л. П. Карсаков, В сборн. Матер. по геологии и полезным ископаемым Якутской АССР, № 19, Якутск, 1971. ⁴ Л. П. Карсаков, В сборн. Новости геологии Якутии, в. 2, Якутск, 1972. ⁵ А. А. Маракушев, Проблемы минеральных фаций метаморфических и метасоматических горных пород, «Наука», 1965. ⁶ А. А. Маракушев, В. А. Кудрявцев, ДАН, 164, № 1 (1965). ⁷ Н. В. Соболев, Парагенетические типы гранатов, «Наука», 1964. ⁸ В. Шрейер, Дж. Шерер, В сборн. Вопросы теоретической и экспериментальной петрологии, ИЛ, 1963. ⁹ В. В. Хлестов, ДАН, 154, № 4 (1964). ¹⁰ H. S. Yoder, G. A. Chinner, Almandite — Pyrope — Water System at 10000 bar. Carnegie Inst. Wash., Year Book, № 59 (1960). ¹¹ W. Schreyer, H. S. Yoder jr., Instability of Anhydrous Mg-Cordierite of High Pressures. Carnegie Inst. Wash., Year Book, № 59 (1960). ¹² B. J. Hensen, E. J. Essene, Contr. Mineral. Petrol., 30, № 1 (1971).