

С. П. КОРИКОВСКИЙ, В. А. БОРОНИХИН, И. П. ЛАПУТИНА

**ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ГРАНИЦА УСТОЙЧИВОСТИ
СТИЛЬПНОМЕЛАНА НА ПРИМЕРЕ КИАНИТОВОГО
МЕТАМОРФИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПАТОМСКОГО НАГОРЬЯ**

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 4 III 1975)

Широко распространено мнение, что стильномелан устойчив лишь в условиях низких ступеней зеленосланцевой фации (зона хлорита), и с переходом к биотитовой зоне он полностью исчезает за счет изогравных реакций типа $\text{Stp}^* + \text{Mu} \rightarrow \text{Bi} + \text{Chl} + \text{Q} + \text{H}_2\text{O}$ ⁽¹⁾ или $\text{Stp} + \text{Chl} + \text{Mu} \rightarrow \text{Bi} + \text{Q} + \text{Hem} + \text{H}_2\text{O}$ ⁽²⁾. Однако при детальных исследованиях за последние годы выяснилось, что стильномелан стабилен в малоглиноземистых породах не только всей биотитовой ⁽³⁾, но и части гранатовой зоны; в пределах последней он образуется лишь в недосыщенных K_2O парагенезисах без мусковита, с грюнеритом, хлоритом и гранатом, а иногда — с зеленой роговой обманкой ^(3, 6).

В нижнепротерозойском миогеосинклинальном комплексе Патомского нагорья, в котором проявлена одноактная метаморфическая зональность кианит-силлиманитового типа, стильномелан спорадически встречается в метапесчаниках биотитовой и низкотемпературной части альмандин-хлорит-хлоритоидной («гранатовой») зон. Последние, наиболее высокотемпературные, парагенезисы стильномелана были обнаружены среди пород средней ступени альмандин-хлорит-хлоритоидной субфации на Топодском поднятии, в базальной «параамфиболитовой» пачке медвежьевской свиты (в обнажениях по ручью Пологому, левому притоку р. Челончен). Эта пачка, мощностью 20—40 м, непосредственно вниз по разрезу сменяется кварцитами и высокоглиноземистыми сланцами пурпильской свиты, для которой на данном участке характерны критические парагенезисы $\text{Ky} + \text{Chld} + \text{Chl} + \text{Q}$ и $\text{Gr}_{95} + \text{Chld}_{93} + \text{Chl}_{77} + \text{Q}$ (рис. 1, I) с участием граната, содержащего не выше 5—7% спессартин-гроссуляровой составляющей. Параамфиболитовая пачка сложена в основном куммингтонит-гранат-хлорит-кварцевыми и роговообманково-хлорит-анкерит-плагноклаз-кварцевыми параамфиболитами крупно-, иногда гигантозернистой структуры; подчиненное значение имеют хлорит-гранат-мусковит-кварцевые и гранат-роговообманково-хлорит-кварцевые бесполовошпатовые сланцы. В них, как и в высокоглиноземистых породах, устойчивы хлориты железистостью до 77%, а также роговые обманки с 4—17 вес.% Al_2O_3 и гранаты с широко меняющимся содержанием CaO и MnO (до 21% гроссуляровой и до 50% спессартиновой молекул). Железистость маломарганцевистых гранатов не спускается ниже 95%, но при аномально высокой примеси спессартина понижается до 85—90%.

Среди параамфиболитов встречены небольшие прослои угольно-черных меланократовых сланцев, содержащих от 50 до 90% стильномелана. Его беспорядочно ориентированные чешуйки размером 0,05—1 мм образуют

* Здесь и далее: Alm — альмандин, Ank — анкерит, Bi — биотит, Chl — хлорит, Chld — хлоритоид, Csm — куммингтонит, Gr — гранат, Gros — гроссуляр, Ilm — ильменит, Hem — гематит, Ky — кианит, Mgt — магнетит, Mikr — микроклин, Mu — мусковит, Pr — шпрон, Q — кварц, Spes — спессартин, Stp — стильномелан. F — общая железистость $(\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg}), \%)$.

основную массу породы, среди которой выделяются скопления зерен кварца, розетки призматического куммингтонита до 1—3 см длиной, правильные ромбододекаэдры розового граната диаметром 1—1,5 см или отдельные чешуйки густо-зеленого хлорита. Если не считать развивающегося кое-где по трещинкам в гранате вторичного хлорита, все указанные выше минералы находятся в равновесных отношениях друг с другом. Стильпномелан имеет в шлифе зеленый цвет, но в выветрелых участках становится бурым.

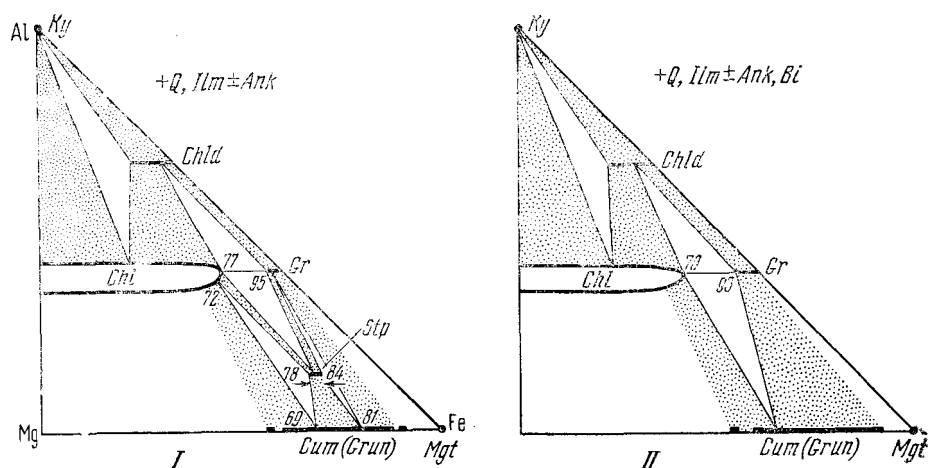


Рис. 1. Парагенезисы недосыщенных калием и кальцием пород средней (I) и верхней (II) ступеней альмандин-хлорит-хлоритовидной субфации, содержащих гранаты с 0—15% спессартин-гроссуляровой составляющей. Стрелки указывают изменение состава стильпномелана с ростом температуры

Дифрактограммы стильпномеланов совпадают с эталонными по картотеке ASTM.

Главные парагенезисы этих пород — $Stp + Cum + Gr \pm Ank \pm Ilm + Q$ и $Stp + Chl \pm Cum + Q$. Составы стильпномеланов, хлорита и куммингтонита в них (см. табл. 1) были исследованы на микроанализаторе MS-46 «Camesa» В. А. Боронихиным, а состав граната — И. П. Лапутиной. Условия съемки: ускоряющее напряжение 15 кв, ток зонда 30 ма, в качестве эталонов использовались минералы, по составу и структуре близкие к анализируемым. Расчет концентраций элементов проводился на ЭВМ. Для сравнения в таблице приведены микрохимические анализы куммингтонита, хлорита и граната из образцов пород, переслаивающихся со стильпномелановыми сланцами в данном обнажении.

Фазовые равновесия в изученных ассоциациях и в нижележащих высокоглиноземистых сланцах пурпольской свиты показаны на рис. 1, I. Наиболее железистые стильпномеланы ($F_{Stp} = 84\%$) устойчивы в парагенезисе $Stp + Gr + Cum + Q$, более магнезиальные ($F_{Stp} = 78\%$) — в парагенезисе $Stp + Chl \pm Cum + Q$. Куммингтониты представлены безглиноземистыми грюнеритами. Зондовые анализы гранатов обнаруживают в них обычную прогрессивную зональность роста: марганцевистое ядро и возрастание к краевой части содержания FeO и MgO, с пропорциональным уменьшением количества MnO и небольшим увеличением магнезиальности от центра к краю (F_{Gr} снижается от 96,3 до 95,8%). Из рис. 1, I следует, что на данной температурной ступени парагенезис $Gr + Chl + Cum + Q$ должен быть неустойчив, так как вместо него стабилен стильпномелан. Однако это справедливо лишь для пород с гранатом, содержащим небольшое количество CaO и MnO ($\Sigma Gros + Spes \leq 15\%$), как в краевой части граната в обр. И-63/13. При повышенном содержании CaO и MnO, например в гранате из обр. И-63/12 ($\Sigma Gros + Spes = 24\%$), такой альтернативный парагенезис становится воз-

возможен, чем и объясняется довольно обычное переслаивание гранат-куммингтонит-хлоритовых амфиболитов со стильпномелансодержащими сланцами.

Следовательно, в средней части альмандин-хлорит-хлоритоидной субфации метаморфизма в Патомском нагорье стильпномелан имеет не только очень узкие пределы колебания состава ($F_{\text{Stp}}=78-84\%$): его стабильность ограничена лишь породами, недосыщенными K_2O (в присутствии мусковита Stp не встречается) и содержащими небольшое количество CaO и MnO . Такое ограничение его устойчивости указывает на то, что температурные

Таблица 1

Составы минералов из стильпномелансодержащих парагенезисов в медвежьей свите Патомского нагорья (%)

Компонент	Обр. И-63/13 (Stp + Cum + Gr + Q + Ilm)				Обр. И-63/15 (Stp + Chl + Q)		Обр. И-63/12 (Cum + Chl + Gr + Bi + Q) *			
	Stp	Cum	Gr		Stp	Chl	Cum	Chl	Gr	
			центр	край						
SiO_2	49,39	47,60	36,8	36,8	47,21	20,90	50,41	25,93		
TiO_2	He обн.	He обн.	0,05	0,05	He обн.	He обн.	0,24	0,22		
Al_2O_3	3,74	0,26	20,3	20,8	5,40	20,14	He обн.	19,73		
Fe_2O_3							1,73	6,68		33,52 (общ.)
FeO	34,05**	42,98**	30,0**	36,1**	32,93**	37,51**	35,62	29,99		
MnO	0,32	0,34	8,4	2,4	0,23	0,10	0,37	0,07		3,19
MgO	3,60	5,74	0,67	0,9	4,99	8,34	9,44	7,57		1,31
CaO	0,07	0,22	3,5	3,3	0,31	0,03	0,44	He обн.		5,57
Na_2O	He обн.	He обн.			He обн.	He обн.	0,04	0,05		
K_2O	2,94	0,02			1,60	0,04	0,10	0,14		
H_2O^-							He обн.	2,14		
H_2O^+							1,23	7,96		
Сумма	94,11	97,16	99,72	100,3	92,67	87,06	99,62	100,48		
Fe/(Fe + Mg), %	84,0	81,0	96,3	95,8	78,7	71,5	68,9	72,9		93,0
			Миналы: $\text{Alm}_{66}\text{Pr}_3$ $\text{Alm}_{41}\text{Pr}_4$ $\text{Spes}_{9}\text{Gros}_{10}$ $\text{Spes}_5\text{Gros}_{10}$							Миналы: $\text{Alm}_{71}\text{Pr}_5$ $\text{Spes}_7\text{Gros}_{17}$

Аналитик Л. С. Абрамова

* Микрохимические анализы.

** Все железо определялось как FeO.

условия близки к верхнему пределу стабильности стильпномелана. Дальнейшее даже небольшое повышение температуры должно привести к распаду более магнезиальных стильпномеланов на Cum+Chl, железистых — на Cum+Gr и, наконец, к исчезновению последних, среднежелезистых стильпномеланов вследствие моновариантной реакции типа $\text{Stp}_{80} + \text{Q} \rightarrow \text{Cum}_{74} + \text{Gr}_{95} + \text{Chl}_{76} + \text{H}_2\text{O}$. Действительно, далее к юго-западу, где метаморфизм отвечает уже верхней ступени альмандин-хлорит-хлоритоидной субфации, стильпномелан в параамфиболитовой пачке исчезает, полностью вытесняясь парагенезисом Gr+Chl+Cum+Q (рис. 1, II).

Результаты изучения устойчивости стильпномелана в различных метаморфических регионах (^{3, 5-8}) обнаруживают постепенное сужение устойчивых составов и уменьшение числа его парагенезисов с ростом температуры. Самым первым, на границе нижней и средней ступеней биотитовой субфации, исчезает парагенезис стильпномелана с микроклином: $\text{Spt} + \text{Mikr} \rightarrow \text{Bi} + \text{Mu} + \text{Mg} + \text{Q} + \text{H}_2\text{O}$ (⁴). Затем, у верхней ступени биотитовой субфации стильпномелан становится неустойчив также в парагенезисе с мусковит-фенгитом: $\text{Stp} + \text{Mu} - \text{Phn} \rightarrow \text{Bi} + \text{Chl} + \text{Q} + \text{H}_2\text{O}$ (⁵), но сохраняется в недосыщенных K_2O парагенезисах с хлоритом, миннесотанитом, биотитом и актинолитом. В следующей, альмандин-хлорит-хлоритоидной субфации («зона

граната») стильномелан, интервал стабильных составов которого предельно сужается, устойчив лишь в бедных калием и марганцем высокожелезистых породах, в парагенезисах с альмандином, грюнеритом и хлоритом (³, ⁶). Распад стильномелана на Gr+Chl+Cum в условиях верхней ступени альмандин-хлорит-хлоритоидной субфации приводит к его полному исчезновению.

Поле устойчивости стильномелана, таким образом, прослеживается почти через всю зеленосланцевую фацию, и в кинитовых метаморфических комплексах (например, в Патомском нагорье) он распадается незадолго перед появлением ставролита, т. е. у границы зеленосланцевой и ставролитовой фаций.

Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии
Академии наук СССР
Москва

Поступило
2 III 1975

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. Винклер, Генезис метаморфических пород, М., «Мир», 1969. ² Н. Л. Добрецов и др., Фации метаморфизма, М., «Недра», 1970. ³ А. А. Макухина, В сб.: Петрография железо-кремнистых формаций Украинской ССР, Киев, Изд. АН УССР, 1956.
⁴ С. П. Кориковский, Изв. АН СССР, сер. геол., № 1 (1972). ⁵ E. Brown, Contr. Min. Petr., v. 31, № 4 (1971). ⁶ T. Hashimoto, R. Beland, Canad. J. Earth Sci., v. 5, № 4 (1968). ⁷ J. F. von Raumer, Contr. Min. Petr., v. 21, № 3 (1969). ⁸ Zen E-an, Am. Mineral., v. 45, № 1-2 (1960).