

С. П. КОРИКОВСКИЙ, И. П. ЛАПУТИНА, А. И. ГУСЕВА

**ИСТИННАЯ ИЗОГРАДА АЛЬМАНДИНОВОГО ГРАНАТА
В ДОКЕМБРИЙСКИХ МЕТАПЕЛИТАХ ПАТОМСКОГО НАГОРЬЯ
И УСТОЙЧИВОСТЬ ГРАНАТ-ХЛОРИТОВОГО ПАРАГЕНЕЗИСА
В КИАНИТОВЫХ КОМПЛЕКСАХ**

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 29 V 1972)

В кианитовой метаморфизической зональности Барроу и в менее глубокой андалузитовой зональности типа Абакума, одной из наиболее характерных для бедных СаО пород, считается изограда граната («альмандина»), определяющая нижнюю границу составляющей метаморфической зоны. Наиболее ранние проанализированные до сих пор изоградные гранаты имеют высокую железистость (90–94%), однако содержат обычно лишь 60–65% альмандиновой молекулы и не менее 20–35% спессартин-гроссуляровой составляющей^(3–6). Это связано с тем, что на изограде количество граната в породе не превышает 1–3% и весь MnO и значительная часть СаО связываются в гранате; так, в районе Шотландских нагорий⁽⁵⁾ при содержании MnO в метапелитах 0,06–0,11 вес. % количество спессартина в изоградных гранатах достигает 14–15%.

Средний по глиноземистости состав хлорита, постоянно ассоциирующего в низах гранатовой зоны с гранатом, отвечает формуле $(\text{Mg}, \text{Fe})_{4.5} \cdot \text{Al}_3\text{Si}_{2.5}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ^(3, 5, 6). Отношение $(\text{Mg}, \text{Fe}) / \text{Al}$ в таком хлорите и пироп-альмандиновом гранате, формула которого $(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$, одинаково и равно 1,5; это значит, что гранат возникает за счет простой дегидратации хлорита в присутствии кварца, без участия других минералов: $\text{Chl} + 2\text{Q} = 1,5\text{Gr} + \text{H}_2\text{O}^*$.

Составы минералов на изограде и внутри гранатовой зоны и тенденции в их изменении близки в различных регионах^(4–6). Гранаты всегда зональны, с очень марганцевистым ядром и менее марганцевистой, но более магниальной внешней каймой; по мере удаления от изограды в глубь гранатовой зоны постепенно возрастает магниальность граната и уменьшается железистость сосуществующего с ним хлорита. Так, непосредственно на изограде граната в метапелитах классического района Шотландских нагорий⁽⁵⁾ ассоциируют гранат железистостью 92–94% (содержащий 30–37% спессартин-гроссуляровой молекулы) и хлорит железистостью 60–63%; с удалением от изограды железистость граната в этом парагенезисе достигает 89%, а хлорита постепенно снижается до 55%. В «альмандиновой» метаморфической зоне Вермонта⁽⁶⁾ стабильны хлориты еще более низкой железистости (39–47%); ассоциирующие с ними зональные гранаты имеют железистость 90–92% в центре и 88–90% в краевых частях. В гранатовой зоне северного Вермонта магниальность сосуществующих гранатов и хлоритов в парагенезисах $\text{Gr} + \text{Chl} + \text{Bi} + \text{Mu} + \text{Q}$ и $\text{Gr} + \text{Chl} + \text{Chld} + \text{Mu} + \text{Q}$ также неуклонно увеличивается с ростом температуры⁽³⁾; все гранаты зональны, например в обр. LA-10q

* Здесь и далее следующие условные обозначения: Alm — альмандин, Bi — биотит, Chl — хлорит, Chld — хлоритоид, Gr — гранат, Graph — графит, Gros — гроссуляр, Hem — гематит, Ku — кианит, Mgt — магнетит, Mrt — мартит, Mu-Phn — мусковит-фенгит, Pl — плагиоклаз, Pr — пироп, Prg — парагонит, Prf — пиррофиллит, Q — кварц, Spes — спессартин, St — ставролит.

железистость ($\text{Fe} / (\text{Fe} + \text{Mg})$) богатого марганцем ядра 94%, краевой части 91%; содержание спессартина в этом же направлении уменьшается от 29 до 12%.

Последовательное смещение в магнезиальную область парагенезиса $\text{Gr} + \text{Chl} + \text{Mu} + \text{Q}$ от нижних к верхним ступеням гранатовой зоны указывает на то, что рост температуры одновременно способствует возникновению все более магнезиальных гранатов (реакции типа $\text{Gr}_{\text{Fe}} + \text{Chl}_{\text{Fe}} + \text{Q} = \text{Gr}_{\text{Mg-Fe}} + \text{H}_2\text{O}$) и распаду наиболее железистых хлоритов (реакции типа $\text{Chl}_{\text{Fe}} + \text{Q} = \text{Chl}_{\text{Mg-Fe}} + \text{Gr}_{\text{Mg-Fe}} + \text{H}_2\text{O}$). Поэтому собственно изоградной, т. е. наиболее низкотемпературной является реакция

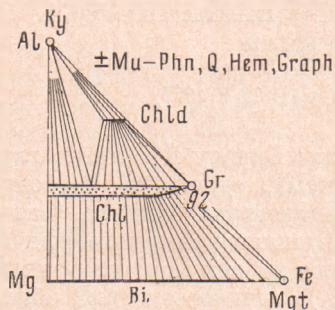


Рис. 1. Парагенезисы мусковитсодержащих метапелитов южной части Патомского нагорья в районе изограды алемандинового граната

образования чисто железистого граната ($\text{Fe} / (\text{Fe} + \text{Mg}) \approx 99-100\%$) за счет тюрингитового хлорита. Тогда «изоградные» парагенезисы типа $\text{Gr}_{92-94} + \text{Chl}_{60-63}$ в обычных метапелитах, например в Шотландских нагорьях⁽⁵⁾, на самом деле отвечают не нижней, а средней ступени гранатовой зоны, поскольку в этих условиях хлориты железистостью более 63% уже нестабильны, так как за их счет образовались близкие к алемандину гранаты ($\text{F}_{\text{Gr}} = 92-100\%$).

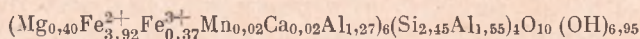
В южной части Патомского нагорья, в пределах зонального метаморфического ореола кианитового типа, удалось выявить наиболее железистый гранат-хлоритовый парагенезис из известных к настоящему времени; его можно считать истинной изоградой алемандинового граната в данном регионе. Порода (обр. Г-48/1), состоящая из хлорита (60%), магнетита (15%), граната (10%) и кварца (15%), обнаружена в контакте пурнольской и медвежьей свит нижнего протерозоя⁽²⁾, в верховьях р. Истанах (северная часть Лонгдорского антиклинория). Восточнее этого участка гранат в аналогичных породах полностью отсутствует, а стабильные парагенезисы указывают на верхние ступени биотитовой зоны; юго-западнее гранат становится все более обычным минералом в нижнепротерозойских бедных СаО породах.

Ниже приведены составы минералов из обр. Г-48/1 (вес.%) *:

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	H ₂ O ⁺	Σ
Хлорит	21,48	0,13	21,07	4,30	41,16	0,19	2,40	0,16	9,17	100,06
Гранат	36,4	0,17	20,4		34,0 **	3,7	0,22	5,2	—	100,09
Магнетит	Не обн.	0,14	0,22	75,75	24,27	Не обнаружено			—	100,38

Кристаллохимические формулы и компонентный состав минералов;

Х л о р и т (в расчете на 10 катионов):



Г р а н а т: $\text{Alm}_{75,6}\text{Pr}_{0,7}\text{Sp}_{8,6}\text{Gr}_{15,1}$

М а р т и т и з и р о в а н н ы й м а г н е т и т: $\text{Mgt}_{0,74}\text{Mrt}_{0,26}$

Общая железистость хлорита в обр. Г-48/1 91,5%, граната 99,1%. Хлорит густо-зеленого цвета, относящийся к 14 Å-типу, составляет основную массу породы, среди которой рассеяны хорошо ограненные октаэдры частично мартитизированного магнетита. Гранат образует либо линейные

* Химические анализы хлорита и магнетита сделаны А. И. Гусевой. Анализ граната выполнен И. П. Лапутиной на микросонде MS-46 фирмы «Самеса»; значения интенсивностей K_{α} -линий элементов получены при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 20 мА; в качестве эталона использовались гомогенные зерна природного граната сходного состава.

** Все железо определялось как FeO.

скопления мелких зерен размером не более 1 мм, тяготеющих к пропласткам кварца, либо тонкие реакционные каймы в контакте кварца и хлоритового агрегата, что ясно указывает на его образование за счет реакции хлорита с кварцем. Проверка нескольких зерен граната при помощи микросонда показала отсутствие зональности и их гомогенное строение.

Парагенезисы пород пурпольской свиты на участке, где встречена хлорит-гранат-магнетитовая порода, показаны на рис. 1. Свита представлена кварцитами и высокоглиноземистыми, не содержащими никаких полевых шпатов метapelитами, среди которых наиболее обычны кианит-хлоритоид-мусковитовые и хлоритоид-мусковитовые сланцы с той или иной при-

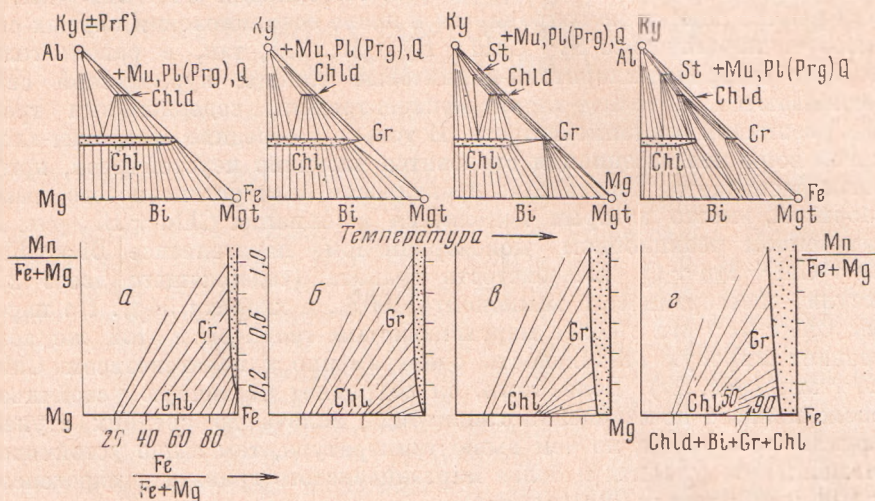


Рис. 2. Парагенезисы низкотемпературных кианитовых метapelитов Патомского нагорья и Бермонта^(3, 4) на диаграммах Al—Mg—Fe и соответствующих им диаграммах Mg—Fe—Mn (альмандин-хлоритовые сечения треугольников Al—Mg—Fe с точкой Mn, отнесенной к бесконечности): а — до изограды альмандина, б — в альмандин-хлорит-хлоритоидной субфации, в нижней (в) и средней (з) частях ставролит-хлоритоидной субфации

месью графита, а иногда магнетита и гематита. Самыми распространенными являются кварцсодержащие парагенезисы Ky + Chld + Mu и Chld + Mu, более редкими — Ky + Chld + Chl ± Mu, Chld + Chl ± Mu и Ky + Chl ± Mu и исключительно редкими — Chl + Gr ± Mu, Chl ± Mu и Chl ± Bi ± Mu. Биотит, встреченный только в парагенезисе Bi + Chl + Mu, очень редок в пурпольской свите, но обычен в подстилающей ходоканской.

До изограды граната минеральные ассоциации пурпольской свиты отличаются лишь отсутствием граната и частичной устойчивостью пирофиллита. Его дегидратация с образованием кианита происходит до появления альмандина, но неравновесная (отражающая кинетику реакции) ассоциация Ky + Prf + Q с разными количественными соотношениями кианита и пирофиллита сохраняется в довольно широком интервале и исчезает лишь непосредственно перед изоградой альмандина.

Почти полное отсутствие магния и близкий в альмандину состав граната, стабильность наряду с ним хлорита железистостью свыше 90%, кристаллизация в виде реакционных кайм между хлоритом и кварцем и отсутствие зональности, обычной для подавляющего большинства зеленосланцевых гранатов — все это показывает, что гранатсодержащий парагенезис в обр. Г-48/1 является наиболее низкотемпературным и по его появлению можно провести истинную изограду альмандинового граната в изученном районе.

Дальнейшее повышение температуры в пределах «гранатовой» зоны данного ореола не меняет принципиально равновесий, показанных на

рис. 1, но магнезиальность хлорита и граната начинает быстро нарастать; гранат становится зональным, его железистость опускается на 91,5%, а сосуществующего с ним хлорита — до 76,4% (парагенезис $\text{Gr} + \text{Chl} + \text{Bi} + \text{Mu} + \text{Q}$).

Как показал О. Олби (⁴), железистость хлорита в парагенезисе $\text{Gr} + \text{Chl} + \text{Mu} + \text{Q}$ зависит кроме температуры и от марганцевистости граната: чем выше содержание MnO в гранате (при одинаковой общей железистости породы), тем магнезиальнее сосуществующий хлорит (рис. 2б). Влияние марганцевистости граната на стабильность гранат-хлоритового парагенезиса у его высокотемпературного предела хорошо прослеживается и в Патомском нагорье. Ассоциация $\text{Gr} + \text{Chl} + \text{Mu} + \text{Q}$ в этом районе полностью сохраняется и после возникновения первых ставролитов в парагенезисе $\text{St} + \text{Chld} + \text{Ky}$ (рис. 2в); так, в районе гольца Дозорного ставролит-хлоритоид-кианитовые сланцы пурпольской свиты переслаиваются с гранат-хлорит-мусковитовыми, содержащими гранат самой различной марганцевистости. И только в середине ставролит-хлоритоидной зоны эта ассоциация становится частично неустойчивой, причем первым распадается парагенезис практически безмарганцевистого граната с хлоритом, вместо которых появляется ассоциация $\text{Chld} + \text{Bi}$ (рис. 2г). В изученном реакционном моновариантном парагенезисе $\text{Bi} + \text{Chld} + \text{Gr} + \text{Chl} + \text{Mu} + \text{Q}$ железистость граната (содержащего всего 2,5%grossular-спессартинового компонента) 90%, а хлорита 54%. Но парагенезис $\text{Chl} + \text{Gr} + \text{Mu}$ с более марганцевистым гранатом в этой же толще сохраняет широкую стабильность одновременно с парагенезисом $\text{Chld} + \text{Bi} + \text{Mu}$ (рис. 2з). Более того, он сохраняет частичную устойчивость и после полного исчезновения хлоритоида, вплоть до средних ступеней ставролитовой фазии; но чем выше температура, тем выше устойчивость магнезиального хлорита и более марганцевистого граната в парагенезисе $\text{Gr} + \text{Chl} + \text{Bi} + \text{Mu} + \text{Chld}(\text{St}) + \text{Q}$.

Встает вопрос о границе «зоны граната» в метаморфических ореолах кианитового типа. Ей, очевидно, отвечает довольно узкий температурный интервал, нижняя граница которого — появление чисто железистых гранатов в ассоциации с тюрингитовыми хлоритами (истинная изограда альмандина), а верхняя — появление ставролита в парагенезисе с хлоритоидом и кианитом (истинная изограда ставролита). Критическим для всего интервала становится парагенезис $\text{Chl} + \text{Gr} + \text{Q}$ с железистым гранатом любой марганцевистости (в том числе совершенно без примеси спессартина), но лишь при полном отсутствии ставролита, появление которого означает переход к новой, ставролитовой (¹) фазии. Поэтому по критической ассоциации данную зону лучше именовать альмандин-хлорит-хлоритоидной зоной (субфазией). Однако полная стабильность ассоциации $\text{Chl} + \text{Gr}$ значительно выходит за пределы этой субфазии: так, парагенезис $\text{Chl} + \text{Gr}$ в отсутствие MnO распадается внутри ставролит-хлоритоидной субфазии, а при значительно повышенном содержании MnO — глубоко в середине ставролитовой фазии.

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

Поступило
24 V 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. П. Кориковский, В сборн. Очерки физико-химической петрологии, 1, «Наука», 1969. ² С. П. Кориковский, В. С. Федоровский, Изв. АН СССР, сер. геол., № 12 (1970). ³ A. L. Albee, J. Petr., 6, № 2 (1965). ⁴ A. L. Albee, In: Studies of Appalachian Geology, 1968. ⁵ M. P. Atherton, Contr. Min. Petr., 18, № 4 (1968). ⁶ M. L. Crawford, Contr. Min. Petr., 13, № 3 (1965).