

УДК 553.85 (571.66)

З.Г. БАДРЕДИНОВ, И.А. ТАРАРИН

Автоэпитаксия граната кристаллических сланцев метаморфического комплекса Центральной Камчатки (к проблеме образования атолловых гранатов)

Исследована природа атолловых форм граната кристаллических сланцев раннепалеогенового метаморфического комплекса Центральной Камчатки. Установлено, что атолловые гранаты сформировались в процессе автоэпитаксии (нарастания) граната регионального метаморфизма (ранний палеоген) на реликтовые кристаллы граната контактово-метаморфической природы (ранний мел) с одновременным замещением ядер реликтового граната ассоциацией новообразованных метаморфических минералов.

Ключевые слова: метаморфизм, атолловый гранат, эпитаксия, замещение.

Auto-epitaxy of garnet of crystalline schists of the metamorphic complex from the Central Kamchatka (to problem of the formation of atoll garnets). Z.G. BADREDINOV, I.A. TARARIN (Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok).

The nature of the atoll forms of garnet of crystalline schists of the Early Paleogene metamorphic complex of Central Kamchatka is investigated. It has been established that atoll garnets were formed during the auto-epitaxy (growth) of a garnet of regional metamorphism (early Paleogene) into relict garnet crystals of a contact-metamorphic nature (Early Cretaceous), with the replacement of relict garnet nuclei by the association of newly formed metamorphic minerals.

Key words: metamorphism, atoll garnet, epitaxy, replacement.

Эпитаксия – закономерное нарастание кристаллов одного минерала на кристаллы другого [7]. Если минералы одинакового типа, то процесс нарастания называется автоэпитаксией. Автоэпитаксия граната предполагает кристаллизацию новообразованного граната на минеральной заправке реликтового граната. От зональности минералов автоэпитаксия отличается наличием перерыва между процессами минералообразования и более существенными различиями в химических составах исходного и новообразованного кристаллов.

Особенностью минералогии регионально метаморфизованных пород Центральной Камчатки является обнаружение в них атолловых гранатов [9], природа которых до настоящего времени остается дискуссионной. В статье приведены результаты исследований атолловых гранатов Камчатки, позволившие раскрыть природу этого экзотического явления.

Атолловая форма минерала выглядит под микроскопом в петрографических прозрачных шлифах (тонкие пластинки породы, просвечиваемые в проходящем свете) как атолл в океане. В центральной части и за внешними гранями атоллового кристалла расположена

* БАДРЕДИНОВ Зиният Гимьяльдинович – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, ТАРАРИН Игорь Александрович – доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток). *E-mail: badre9@mail.ru

основная масса породы (океан), а сам минерал формирует в срезе кольцевую футляровидную форму. Неслучайно второе название атолловых минералов – футляровидные. Атолловые (футляровидные) кристаллы нередко встречаются в вулканических и метасоматических породах. Их образование объясняется существованием в магматических расплавах или метасоматических растворах химических связей между компонентами, структурирующих расплавы или растворы на предкристаллизационной стадии [1, 2, 6]. Наглядным примером такого процесса служат пикритовые лавы Восточной Камчатки (рис. 1), а также материалы экспериментальных исследований по кристаллизации футляровидных и скелетных кристаллов из пересыщенных растворов [2].

В метаморфических процессах кристаллизация минералов происходит в результате твердофазных реакций (метаморфизируемое вещество замещается в твердом состоянии). В таких условиях достижение предкристаллизационного структурирования минералообразующей среды маловероятно. Тем более было удивительным обнаружение атолловых кристаллов граната в метаморфических породах Центральной Камчатки.

Обращение к геологической литературе [13–16] показало, что формирование метаморфогенных футляровидных кристаллов – редкое явление, имеющее иную, в сравнении с магматическими и метасоматическими процессами, природу. Футляровидные кристаллы могут образовываться в метаморфических породах на регрессивной стадии метаморфизма (снижение температуры и давления) в результате замещения неравновесных центральных участков зональных минералов новообразованным равновесным минеральным парагенезисом. Однако региональный метаморфизм Срединного хребта Камчатки носил прогрессивный характер – с возрастанием температуры и давления. Кроме этого, был замечен удивительный факт, не находивший объяснения. Атолловые гранаты в метаморфических породах Срединного хребта Камчатки имеют локальное распространение в виде линейной зоны, за пределами которой метаморфические гранаты (одинаковые по составу с атолловыми гранатами) представлены массивными формами.

Авторам статьи удалось разгадать этот парадокс и на основании петрографических и микронзондовых исследований метаморфических минералов определить условия формирования метаморфических атолловых гранатов Центральной Камчатки.

Атолловые гранаты метаморфического комплекса Центральной Камчатки обнаружены в кристаллических сланцах, распространенных в верховьях р. Крутогорова. Координаты точки отбора геологических образцов: 157°26' в.д., 54°50' с.ш.

На геологических картах толща пород с атолловыми гранатами обозначена как шихтинская свита (шихтинский метаморфический комплекс [10]). Наблюдаемая мощность свиты на участке отбора образцов около 150 м. Она состоит из тонкозернистых

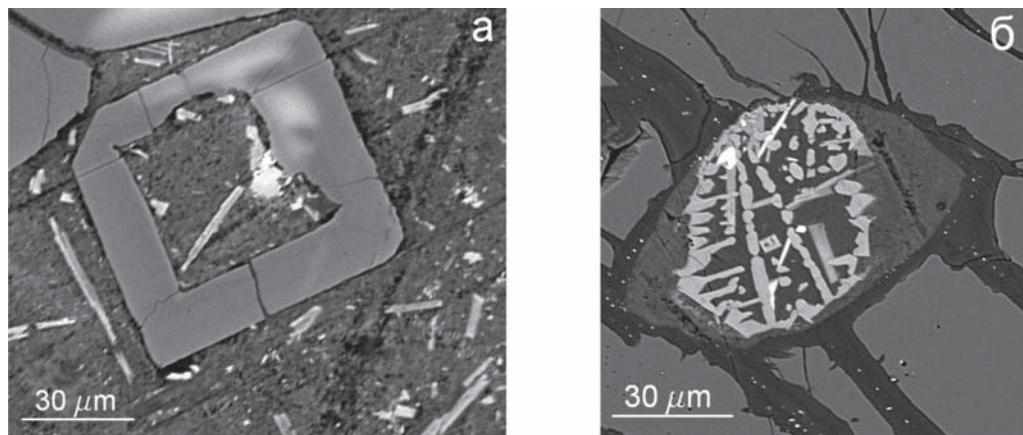


Рис. 1. Футляровидный (а) и скелетный (б) кристаллы клинопироксена в пикритах Восточной Камчатки. Фотографии сделаны в отраженных электронах на рентгеновском микроанализаторе

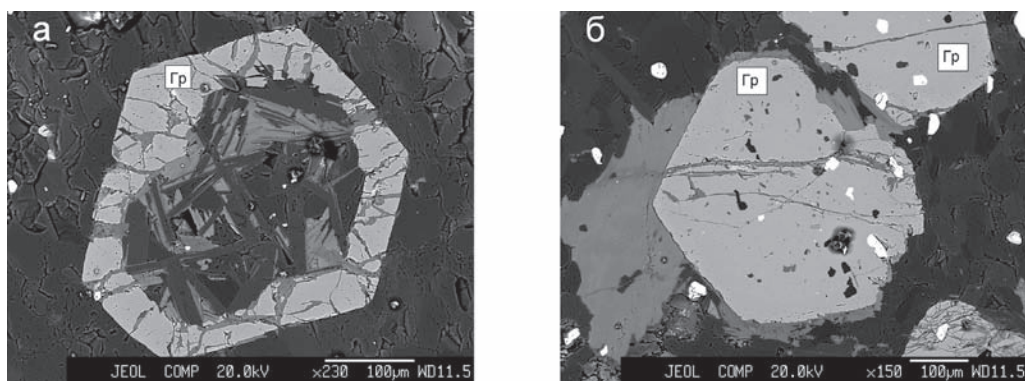


Рис. 2. Атоллловый (а) и массивный (б) гранаты шихтинского метаморфического комплекса. Гр – гранат. Фотографии сделаны в отраженных электронах на рентгеновском микроанализаторе

гранат-ставролит-биотит-мусковитовых кристаллических сланцев с редкими горизонтами серых среднезернистых гранат-биотит-мусковитовых сланцев и отдельными тонкими прослоями амфибол-биотит-гранат-плагноклаз-кварцевых сланцев. В основании свиты прослеживается зона тектонического надвига, отделяющего шихтинскую свиту от нижезалегающих гранито-гнейсов крутогоровского гранитоидного комплекса [3, 4, 11, 12].

Метаморфические породы шихтинского комплекса сформировались в процессе регионального метаморфизма нижнемеловых (возраст около 100 млн лет) первично осадочных отложений – песчаников, алевролитов и аргиллитов, уровень метаморфизма которых, оцененный по гранат-биотит-плагноклазовому геотермобарометру, отвечает пиковым значениям температуры 550 °С и давления около 4 кбар [10], что соответствует давлению в земной коре на глубинах 10–12 км.

Атоллловые формы гранатов (рис. 2а) присутствуют в основании разреза шихтинского комплекса, в горизонте гранат-ставролит-слюдистых кристаллических сланцев мощностью около 1 м. Выше и ниже этого горизонта футляровидные формы минералов не встречаются, уступая место гранатам массивного облика (рис. 2б), широко распространенным в составе комплекса, в том числе в ассоциации с атоллловыми кристаллами.

Наряду с футляровидными (атоллловыми) формами, гранаты образуют в породах отдельные грани и фрагменты кристаллического каркаса. Кроме этого, в составе шихтинской свиты присутствуют редкие кристаллы оптически зональных гранатов (рис. 3), центральные части которых сложены реликтовым гранатом, сформировавшимся в иных

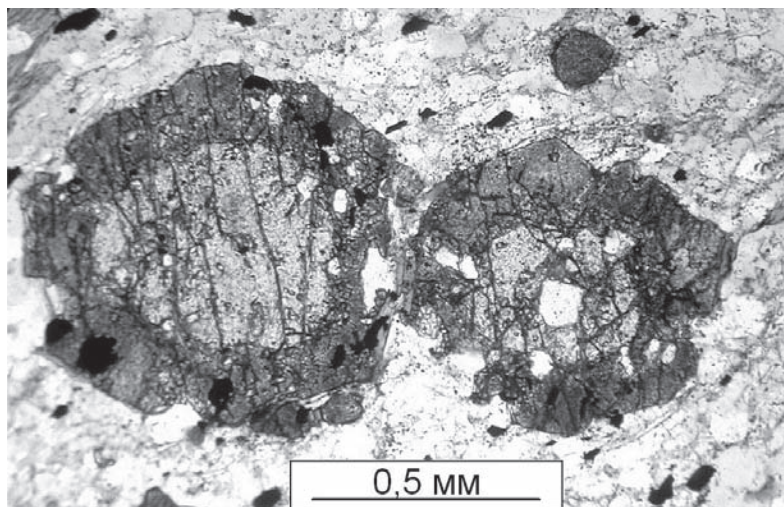


Рис. 3. Кристаллы граната с оптической зональностью. Светлое ядро – реликтовый гранат, темная внешняя зона – новообразованный гранат. Фотография сделана в проходящем свете в петрографическом шлифе с помощью оптического микроскопа

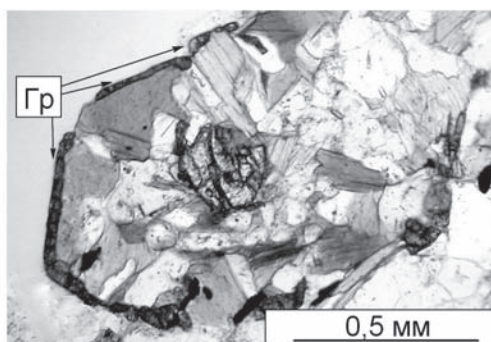
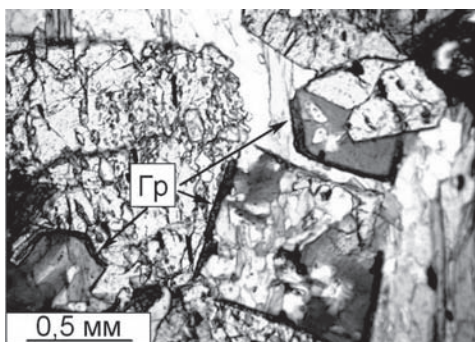


Рис. 4. Эпитаксические наросты мелких кристаллов граната, транслирующие грани реликтовых гранатов, служивших минеральной затравкой. Гр – гранат. Фотографии сделаны в проходящем свете в петрографических шлифах с помощью оптического микроскопа

условиях метаморфизма, чем гранат, обрастающий его [8, 9, 11]. Петрографические и микронзондовые исследования показывают, что эти срастания гранатов обусловлены процессами автоэпитаксии, сопровождавшей метаморфогенное минералообразование. Реликтовые кристаллы граната (сформировавшиеся до регионального метаморфизма) послужили затравкой для автоэпитаксической кристаллизации на их гранях мелких кристаллов новообразованного метаморфогенного граната. Об этом свидетельствуют следы такого нарастания, сохранившиеся в исследуемых породах в виде скоплений мелких кристаллов новообразованного граната, транслирующих контуры граней кристалла-затравки (рис. 4). Дальнейший автоэпитаксический рост кристаллов граната на гранях реликтового кристалла привел к срастанию мелких гранатов в единую зону и формированию граней новообразованного граната (рис. 3), окаймляющего кристалл-затравку в виде атоллового кольца. Параллельно с этим происходило формирование метаморфогенного граната в основной массе породы на точечных затравках. Рост этих кристаллов привел к кристаллизации массивных гранатов (рис. 2б).

На определенной стадии увеличения температуры и давления метаморфизма реликтовый гранат стал неустойчивым и подвергся замещению (вплоть до полного) новообразованной ассоциацией минералов, составляющих основной минеральный парагенезис метаморфических пород (биотит, мусковит, плагиоклаз, кварц). В результате на месте эпитаксически сросшихся гранатов сформировались атолловые гранаты, состоящие из зоны эпитаксического новообразованного граната и центрального ядра, замещенного парагенезисом минералов, слагающих основную массу пород (рис. 5).

Химические составы атолловых гранатов подобны составам массивных кристаллов граната и внешних оболочек кристаллов граната, эпитаксически обрастающих

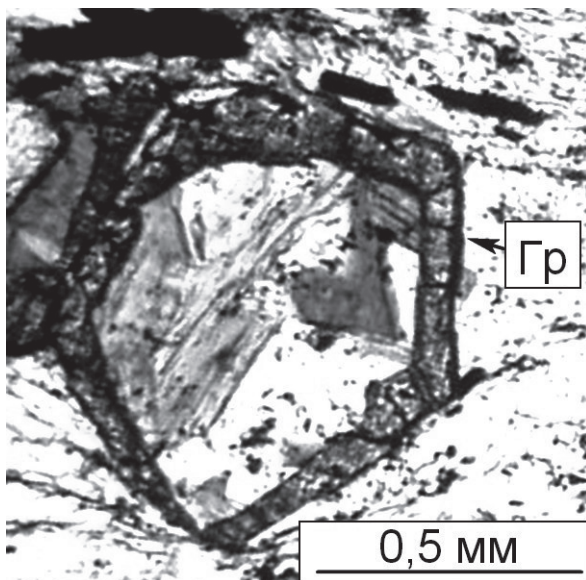


Рис. 5. Атолловый гранат, сформировавшийся в результате замещения реликтового граната новообразованным минеральным парагенезисом. Гр – гранат. Фотография сделана в проходящем свете в петрографическом шлифе с помощью оптического микроскопа

Химический состав (масс. %) гранатов шихтинского комплекса

№	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Сумма
1	37,03	21,60	32,99	1,32	1,93	5,43	100,29
2а	36,21	20,39	33,88	0,94	1,40	7,34	100,15
2б	36,61	20,43	35,51	1,14	2,32	4,27	100,28
3	36,76	21,62	27,19	11,90	1,48	1,31	100,25

Примечание. 1 – край атоллового кристалла граната; 2а – центр и 2б – край массивного кристалла граната; 3 – реликтовый гранат. Анализы минералов выполнены в лаборатории рентгеновских методов ДВГИ ДВО РАН на рентгеновском микроанализаторе JXA 8100. Прецизионность определений основных элементов составляла ± 0,5 масс. %.

таморфизма (см. таблицу, анализы № 2а, 2б). В составах атоллового кристаллов граната также отмечаются вариации по содержаниям железа, магния, марганца и кальция, но не столь отчетливые, как в массивных (химически зональных) кристаллах. Таким образом, можно констатировать, что формирование атоллового граната, массивных и внешних каём эпитактических гранатов происходило в одинаковых физико-химических условиях в один этап прогрессивного регионального метаморфизма.

Что касается реликтового граната, резко отличного по химическому составу от новообразованных гранатов (см. таблицу, анализ № 3), то специальные исследования показали, что его формирование происходило в близповерхностных условиях при давлении менее 2 кбар в процессе контактового метаморфизма, связанного с интрузивным (горячим) внедрением в терригенные отложения шихтинской свиты гранитоидов Крутогоровского массива в раннемеловой период геологического времени [10]. В свете вышеизложенного становятся объяснимыми парадокс локального распространения атоллового граната в разрезе шихтинского комплекса и приуроченность зоны атоллового граната к низам толщи, прорываемым Крутогоровской интрузией. Локальное распространение атоллового граната отражает зональный характер контактового метаморфизма, ответственного за формирование вокруг массива ореола гранатосодержащих контактово метаморфизованных пород. Тектонические подвижки, проявившиеся вдоль границы гранитоидного массива и отложений шихтинской свиты, нарушили этот ореол, что вызвало противоречивые интерпретации природы самого контакта [3–5, 9, 11, 12]. Решению этого противоречия способствовали исследования реликтовых и новообразованных гранатов [10].

Таким образом, установлено, что основным механизмом формирования экзотических атоллового кристаллов граната в метаморфических породах Среднего хребта Камчатки явились процессы автоэпитаксии с одновременным замещением реликтового граната новообразованной ассоциацией метаморфических минералов.

Очевидно, эпитактическому росту гранатов способствовало быстрое погружение отложений шихтинской свиты на глубины, отвечающие фациальным условиям регионального метаморфизма (10–12 км). В противном случае (при постепенном росте температуры и давления метаморфизма) реликтовый гранат полностью бы заместился ассоциацией формирующихся метаморфических минералов и в породах наблюдался бы новообразованный гранат обычной массивной формы, как это фиксируется в большинстве метапород, испытавших прогрессивный метаморфизм.

По мнению авторов, изложенный выше материал позволяет поставить точку в многолетней дискуссии о природе удивительного явления – формирования атоллового граната в метаморфическом комплексе Центральной Камчатки.

реликтовый гранат (см. таблицу).

В массивных гранатах микронзондовыми исследованиями фиксируется увеличение концентраций железа и магния от центра к краям кристаллов с одновременным снижением концентраций марганца и кальция, что обусловлено прогрессивным ростом давления и температуры ме-

ЛИТЕРАТУРА

1. Безмен Н.И. Надликвидусная дифференциация флюидных магматических расплавов в восстановительных условиях как возможный механизм формирования расслоенных массивов (экспериментальные исследования) // Петрология. 2001. Т. 9, № 4. С. 398–416.
2. Воробьев Ю.К. Закономерности роста и эволюции кристаллов минералов. М.: Наука, 1990. 184 с.
3. Кирмасов А.Б., Соловьев А.В., Хоуриган Дж.К. Коллизионная и постколлизионная структурная эволюция Андриановского шва (Срединный хребет, Камчатка) // Геотектоника. 2004. № 4. С. 64–90.
4. Некрасов Г.Е. Тектоническая природа Корякско-Камчатского региона и вопросы геодинамики складчатого обрамления севера Тихого океана // Геотектоника. 2003. № 6. С. 53–79.
5. Рихтер А.В. Структура метаморфического комплекса Срединно-Камчатского массива // Геотектоника. 1995. № 1. С. 71–78.
6. Соболев Р.Н. Упорядочение силикатных расплавов, сопровождающее их остывание // Вестн. Моск. ун-та. Серия 4, Геология. 1999. С. 3–8.
7. Спиридонов Э.М. Лекции по генетической минералогии. – <http://dereksiz.org/lekcii-po-geneticheskoi-mineralogii.html> (дата обращения: 11.07.2017).
8. Тарарин И.А., Авченко О.В. О сложной зональности гранатов (на примере метаморфических пород Срединного хребта Камчатки) // Изв. АН СССР. Серия геол. 1983. № 4. С. 81–90.
9. Тарарин И.А. Особенности минералогии и зональность гранатов как показатели полиметаморфизма Срединно-Камчатского комплекса // Геология и геофизика. 1981. № 6. С. 45–56.
10. Тарарин И.А., Бадрединов З.Г., Чубаров В.М. Петрология и рудоносность метаморфических и магматических комплексов Центральной и Восточной Камчатки. Владивосток: Дальнаука, 2015. 302 с.
11. Ханчук А.И. Эволюция древней сиалической коры в островодужных системах восточной Азии. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985. 138 с.
12. Шапиро М.Н., Соловьев А.В., Хоуриган Дж.К. Латеральная изменчивость тектонических структур в зоне эоценовой коллизии островной дуги с континентом (Камчатка) // Геотектоника. 2008. № 6. С. 70–91.
13. Atherton M.P., Edmunds W.M. An electron microprobe study of some zoned garnets from metamorphic rocks // Earth Planet. Sci. Lett. 1966. Vol. 1, N 4. P. 185–193.
14. Cruz M.D.R. Origin of atoll garnet in schists from the Alpujarride Complex (Central zone of Betic Cordillera, Spain): Implications on the *P-T* evolution // Miner. Petrol. 2011. Vol. 101, N 3/4. P. 245–261.
15. Homam S.M. Formation of atoll garnets in the Ardara aureole, NW Ireland // J. Sci. Islamic Repub. Iran. 2003. Vol. 14, N 3. P. 247–258.
16. Smellie J.A.T. Formation of atoll garnets from the aureole of the Ardara pluton, Co. Donegal, Ireland // Min. Mag. 1974. Vol. 39, N 308. P. 878–888.