

УДК 552.48

СИМПЛЕКТИТОВЫЕ ВЫСОКОБАРИЧЕСКИЕ ГРАНАТ-КЛИНОПИРОКСЕН-МАРГАРИТ-МУСКОВИТ-КЛИНОЦОИЗИТОВЫЕ АМФИБОЛИТЫ ДАХОВСКОГО ВЫСТУПА (СЕВЕРНЫЙ КАВКАЗ): ГЕНЕЗИС И СОСТАВ РЕАКЦИОННЫХ СТРУКТУР

© 2004 г. Член-корреспондент РАН С. П. Кориковский, М. Л. Сомин, С. Г. Корсаков

Поступило 19.04.2004 г.

Сведения о петрологии метаморфитов Даховского выступа кристаллического фундамента зоны Передового хребта Северного Кавказа до последнего времени были противоречивыми. Эти породы относились то к низко-среднетемпературным образованиям неопределенного барического типа [1], то к высокотемпературным низкого давления [2]. Результаты нашего исследования симплектитовых гранатовых амфиболитов, обнаруженных среди пород этого выступа, позволяют считать, что все метаморфиты массива относятся к высокобарической серии. В обнажениях нижних частей каньонов рек Белая и Сук видно, что гранатовые амфиболиты представлены согласными прослоями толщиной от дециметров до первых метров среди безгранатовых эпидот- и клинопироксенсодержащих амфиболитов, роговообманковых сланцев, слюдяных микрогнейсов (иногда с реликтами порфирировых структур), двуполевошпатовых биотит-роговообманковых гнейсов, редких мусковит-кварцевых сланцев и идентичны им по степени метаморфизма.

Гранатовые амфиболиты имеют необычный состав. На 20–60% они состоят из микро- и криптокристаллических симплектитов клинопироксен±роговообманково-олигоклазового состава. Кроме них и граната присутствуют небольшие порфириобласты или округлые скопления роговой обманки, клиноцоизита, Са-клинопироксена, основного плагиоклаза, мусковита, маргарита и кварца*. Традиционно

* Приняты следующие обозначения минералов: Ab – альбит, An – анортит, Btw – битовнит, Chl – хлорит, Cpx – клинопироксен, Czo – клиноцоизит, Grt – гранат, Hbl – роговая обманка, Jb – жадеит, Mag – магнетит, Mrg – маргарит, Ms – мусковит, Olg – олигоклаз, Pl – плагиоклаз, Prp – пироп, Qtz – кварц, Rt – рутил, Spl – шпинель, Zs – цоизит.

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии
Российской Академии наук, Москва
Объединенный институт физики Земли
им. О.Ю. Шмидта
Российской Академии наук, Москва
ФГУП “Кавказгеолсъёмка”,
Ессентуки Ставропольского края*

[3, 4] Cpx±Hbl–Pl-симплектиты в метабазах трактуются как продукт декомпрессионного распада ранних омфацитов, а сами симплектитсодержащие метабазиты – как перекристаллизованные эклогиты. Однако в изученных нами породах реликты омфацита не обнаружены. Cpx–Hbl–Pl-симплектиты в них – доминирующие, но не единственные реакционные структуры, и их микронзонное изучение позволяет выявить сложную проградно-ретроградную метаморфическую историю пород.

Реликтовые минералы до симплектитовой стадии формируют ранний равновесный парагенезис $Grt + Hbl^1 + Czo^1 + Ca-Cpx^1 + Ms + Mrg + Pl^1 + Qtz \pm Spl$, отражающий условия высокобарической эпидот-амфиболитовой фации. Судя по нему, породы имели специфический состав, обогащенный Al, Ca и K, что, вероятно, может указывать на их первично-осадочную природу. Зерна граната размером до 8 мм, как фрагментированные, так и целые, сохраняют ярко выраженную проградную зональность с резким повышением содержания пироба от 15–18% в центре до 33–36% в краевой зоне, при одновременном уменьшении примеси спессартина и гроссуляра (табл. 1). Призматические (рис. 1) выделения Са-амфиболов (Hbl¹) по составу соответствуют Mg-горнбленду [4] с умеренным содержанием Na, Al и Fe (табл. 1). Близкие по размеру зерна клиноцоизита (Czo¹) (рис. 1) содержат не более 5 мас. % Fe₂O₃. Округлые зерна первичного, очень основного Pl¹ имеют зональное строение – битовнитовую внутреннюю часть (80–87% An) и более кислую узкую внешнюю кайму (20–47% An). В редких реликтах Са-клинопироксена (Cpx¹) примесь жадеита не превышает 0.5–2.5%, но омфациты среди них отсутствуют полностью. Белая К-слюда представлена мусковитом с небольшим содержанием фенгитовой молекулы (Si 3.0–3.2 форм. ед., (Mg + Fe) 0.08–0.40) и иногда с примесью ВаО (до 2.9 мас. %); его чешуйки образуют округлые скопления – либо мономинеральные, либо в сростании с мельчайшими зернами высокожелезистой шпинели со

Таблица 1. Представительные составы некоторых первичных и вторичных минералов из симплектитовых Grt-Hbl-Cpx-Pl-Ms-Mrg-Qtz-амфиболитов Даховского выступа, мас. %

Компонент	Обр. 670/17				Обр. 670/20			
	Grt →		(Hbl ³ + Pl ³)		(Hbl ¹ + Czo ¹) →		(Cpx ² + Pl ²)	
	центр	край	келифит		крупные зерна		симплектит	
SiO ₂	38.19	39.59	40.59	51.19	50.21	39.77	53.95	62.44
TiO ₂	0.12	–	–	–	0.23	0.10	–	–
Al ₂ O ₃	21.19	22.15	17.85	30.48	8.98	29.79	0.53	23.02
FeO	24.05	20.28	14.97	0.37	7.06	4.24*	5.13	0.14
MnO	2.76	0.27	0.26	–	0.14	–	0.06	–
MgO	4.80	10.13	10.22	–	17.98	0.50	15.36	–
CaO	8.75	7.46	11.11	14.25	11.98	23.78	23.82	5.57
Na ₂ O	–	–	2.53	3.64	1.45	–	0.42	8.36
K ₂ O	–	–	0.22	–	0.15	0.04	–	0.02
ZnO								
Cr ₂ O ₃								
Сумма	99.86	99.88	97.75	99.93	98.18	98.22	99.27	99.55
Fe/(Mg + Fe ²⁺)	0.74	0.53	0.38		0.11		0.15	
Sps, %	6.0	0.6						
Prp	18.3	37.5						
Grs	24.1	19.8						
An, %				68.4				26.9
Jd, %							1.9	

Компонент	Обр. 670/20				Обр. 670/27			
	Czo ¹ → An ² →		Olg ²		Mrg ¹ → Zs ² →		Olg ²	
	зерно	двойная кайма	зерно	двойная кайма	зерно	двойная кайма	симплектит	
SiO ₂	39.48	41.72	61.34	33.65	39.32	62.42	44.33	–
TiO ₂	0.30	–	–	–	–	–	0.11	–
Al ₂ O ₃	27.99	32.02	24.15	47.10	31.24	23.96	37.51	58.42
FeO	5.97*	0.38	0.19	0.19	1.91*	0.10	1.77	34.05
MnO	–	–	–	0.07	0.04	–	–	–
MgO	0.16	–	–	0.07	0.06	–	0.48	5.66
CaO	24.12	24.85	6.04	9.88	25.16	5.47	0.44	0.06
Na ₂ O	–	0.71	8.11	1.85	–	7.87	0.42	–
K ₂ O	0.01	0.08	0.10	0.56	–	0.06	10.23	–
ZnO								0.36
Cr ₂ O ₃								0.41
Сумма	98.03	99.76	99.93	93.37	97.73	99.88	95.29	98.96
Fe/(Mg + Fe ²⁺)								0.77
Sps, %								
Prp								
Grs								
An, %		94.7	29.0			27.6		
Jd, %								

* Все железо, как Fe₂O₃.

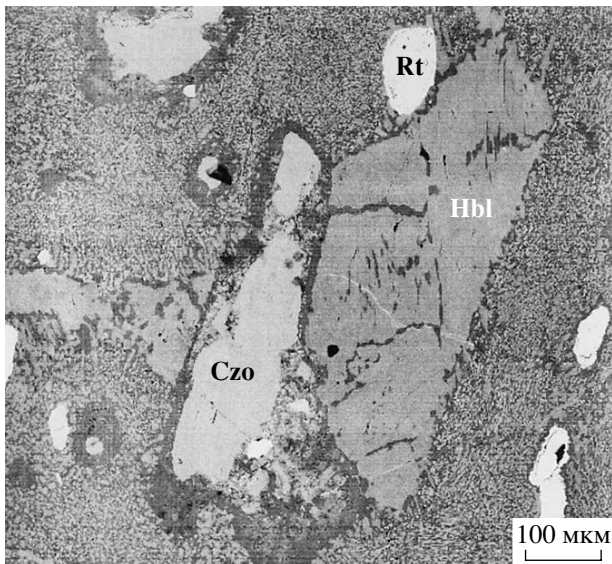


Рис. 1. Кристаллы первичного клиноцоизита и роговой обманки среди $\text{Crx}^2\text{-Hbl}^2\text{-Pl}^2$ -симплектитов. Видны секущие Olg-прожилки в роговой обманке, связанные с симплектитами, и двойная Pl ($\text{An} \rightarrow \text{Olg}$)-кайма вокруг Czo. Фото в отраженных электронах.

слегка повышенным содержанием ZnO (табл. 1). Округлые агрегаты дают и чешуйки маргарита, содержащего до 2 мас. % Na_2O (табл. 1). Содержание кварца колеблется от 0 до 15–20%. Мелкие призмы рутила всегда обрамлены каймами сфена.

Реакционные структуры, окружающие минералы ранней стадии, необычайно разнообразны; часть из них связана с ростом температуры, часть – с ретроградными процессами при эксгумации. Самыми ранними и широко распространенными являются $\text{Crx}^2\text{-Hbl}^2\text{-Pl}^2$ -симплектиты, из-за своей мельчайшей зернистости имеющие под микроскопом черно-серый, почти изотропный вид, так что слагающие их минералы (размером от 2 до 20 мкм) различимы только при сильнейшем увеличении. Тройные симплектиты сложены авгитом с 1–3% Jd (Crx^2), зеленой роговой обманкой (Hbl^2) серии Mg-горнбленд [5] и олигоклаз-андезином с 25–35% An (Pl^2) (табл. 1). Соотношения между вростками Crx^2 и Hbl^2 в симплектитах как равновесные, так и с признаками частичного замещения $\text{Crx}^2 \rightarrow \text{Hbl}^2$. $\text{Crx}^2\text{-Hbl}^2\text{-Pl}^2$ -симплектиты не имеют реакционных отношений с Grt, Crx^1 , Ms и Mrg, но обнаруживают признаки резорбции и разъедания порфиробластов Czo^1 и Hbl^1 (рис. 1), причем последние рассекаются также тончайшими прожилками олигоклаза, ответвляющегося от окружающего симплектита. Это означает, что образование $\text{Crx}^2\text{-Hbl}^2\text{-Pl}^2$ -симплектитов было связано не с распадом омфацита, а с приводящей к аналогичному результату проград-

ной реакцией $\text{Hbl}^1 + \text{Czo}^1 + \text{Qtz} \rightarrow \text{Crx}^2(\pm\text{Hbl}^2) + \text{Pl}^2(\text{Olg}) + \text{Grt}$ (его проградная кайма) + H_2O , способствующей общему увеличению количества Crx и Pl в породе за счет двух водосодержащих минералов – Hbl^1 и Czo^1 , а также разрастанию проградной зональности в гранате и формированию парагенезиса Grt + Crx^2 (поскольку гранаты с окружающим симплектитовым матриксом были явно равновесны). Подобные симплектитообразующие реакции на пике метаморфизма уже были описаны в литературе [6]. В данном случае пиковый характер процесса подтверждается тем, что и более крупный реликтовый Crx^1 в этих породах, и новообразованный Crx^2 из симплектитов по содержанию Jd-молекулы (1–3%) абсолютно идентичны клинопироксенам из среднезернистых, равновесных, нематогранобластовых $\text{Crx}\text{-Hbl}\text{-Czo}\text{-Pl}$ окружающих амфиболитов. Это говорит в пользу возникновения $\text{Crx}^2\text{-Hbl}^2\text{-Pl}^2$ -симплектитов в условиях $P\text{-}T$ -максимума метаморфизма всей толщи в ходе ее проградной эволюции.

Большинство порфиробластов клиноцоизита окружено concentрическими двойными плагиоклазовыми каймами; внутренняя состоит из анортита (табл. 1) или битовнита, внешняя – из олигоклаза с постепенным повышением содержания Ab к периферии каймы. Видимо, их формирование было близко по времени к симплектитообразующей реакции, подтверждая, в свою очередь, общее уменьшение стабильности Czo на проградном этапе. Сходные по морфологии двойные concentрические структуры окаймляют и скопления маргарита: они состоят из внутренней цоизитовой и внешней – олигоклазовой каймы (табл. 1). Они также отражают процессы проградной дегидратации, но, очевидно, развивались более длительно – сначала маргарит частично замещался цоизитом, а затем цоизитовая кайма замещалась олигоклазовой, по-видимому, одновременно с плагиоклазовыми каймами вокруг порфиробластического клиноцоизита.

Другие типы реакционных структур формируются позднее $\text{Crx}^2\text{-Hbl}^2\text{-Pl}^2$ -симплектитов и Pl-кайм вокруг Czo и Mrg и имеют не проградную, а ретроградную направленность. Это прежде всего роговообманково(\pm магнетит)-плагиоклазовые келифиты с глобулярной структурой, окружающие все зерна граната в их контактах с $\text{Crx}^2\text{-Hbl}^2\text{-Pl}^2$ -симплектитами (рис. 2). Келифиты сложены сростками высокоглиноземистого (до 19 мас. % Al_2O_3) Ca-амфибола паргаситового или чермакитового ряда [5] и основного плагиоклаза с содержанием An 60–87% (табл. 1), с цепочечными выделениями магнетита на периферии келифитовой каймы. Поскольку $\text{Hbl}^3\text{-Pl}^3\pm\text{Mag}$ -келифиты появляются только в контактах граната с $\text{Crx}^2\text{-Hbl}^2\text{-Pl}^2$ -симплектитами, очевидно, что они – следствие реак-

ции граната с симплектитовым пироксеном при участии водно-щелочного окисленного флюида: $\text{Grt} + \text{Cpx}^2 + \text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Pl}^3(60\text{--}87\% \text{An}) + \text{Hbl}^3 + \text{Mag} \pm \text{Qtz}$. В результате реакции, помимо образования келифитов, происходит резорбция внешней проградно-зональной части граната и замещение прилегающих вростков Cpx^2 в симплектите Са-амфиболом, т. е. обратное расширение стабильности Са-амфибола (Hbl^3), что свидетельствует о начале ретроградной эксгумации с привнесом H_2O , Na_2O и O_2 . При дальнейшем снижении температуры начинается и усиливается фрагментация зерен граната в целом с замещением его густой сетью трещин, заполненных Hbl^3 - Pl^3 - Chl - Mag -агрегатом со значительным количеством хлорита, при равновесных соотношениях всех четырех фаз. Роговая обманка в этих “прожилках” в гранате представлена паргаситом или чермакитом, состав плагиоклаза меняется от андезина до битовнита (36–80% An), хлорит имеет железистость 40–50%, магнетит дает сыпь мелких включений. Эти жилки могут сливаться в почти полную псевдоморфозу по гранату, в уцелевших фрагментах которого тем не менее полностью сохраняются признаки проградной зональности. В контактах с кварцем внешние зоны кристаллов граната иногда замещаются двойной хлорит-битовнитовой оторочкой, состоящей из внутренней мономинеральной битовнитовой каймы (82–84% An) и внешней (в контакте с кварцем) мономинеральной хлоритовой каймы с небольшой примесью паргасита.

Признаки более или менее явного привноса Na отмечаются на всех стадиях образования реакционных структур: это – замещение An-кайм вокруг Czo более кислым плагиоклазом, а Zs-кайм вокруг Mrg – олигоклазом; появление Olg-прожилков, секущих порфиробласты Hbl^1 ; окружение гранатов Hbl - Pl - и Chl - Btw -келифитами и разъедание его центральных частей сетью Hbl - Pl - Chl - Mag -прожилков. Все эти реакции расширяют устойчивость Na-содержащих минералов – плагиоклаза и роговой обманки.

Наиболее низкотемпературные реакционные процессы выражаются в замещении Cpx - и Hbl -вростков в симплектитах актинолитом и в спорадическом замещении всех генераций клиноцоизита пумпеллитом.

Таким образом, в симплектитсодержащих амфиболитах фиксируются признаки как проградного процесса, так и ретроградной эксгумации. Первый зафиксирован в формировании резкой проградной зональности в гранатах из ранней ассоциации с Са- Cpx , Hbl , Czo, Ms, Mrg и Са- Pl , далее – в образовании Cpx^2 - Hbl^2 - Pl^2 -симплектитов, зональных плагиоклазовых кайм вокруг клиноцоизита и цоизит-плагиоклазовых кайм вокруг маргарита, отражающих ограничение стабильно-

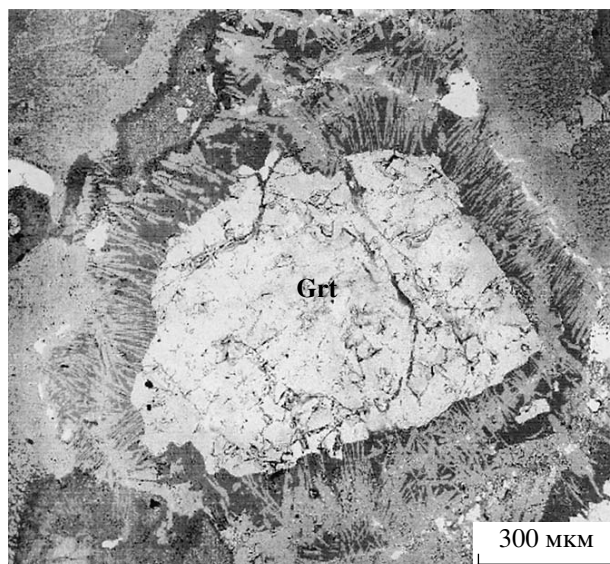


Рис. 2. Роговообманково-плагиоклазовая келифитовая кайма вокруг проградно-зонального граната в контакте с Cpx^2 - Hbl^2 - Pl^2 -симплектитом. На периферии келифита видны скопления зерен магнетита (белые). Фото в отраженных электронах.

сти Hbl , Czo и Mrg, и расширение устойчивости Cpx и Pl . На последующей стадии ретроградной эксгумации парагенезис $\text{Grt} + \text{Cpx}$ распадается с образованием Hbl^3 - $\text{Pl}^3 \pm \text{Mag}$ -келифитов, а гранат как таковой частично замещается Hbl - Pl - Chl - Mag - и Chl - Btw -агрегатом.

Реконструкция PT -параметров проградной и ретроградной стадий для симплектитовых амфиболитов чрезвычайно затруднена из-за тотального развития реакционных структур. Вследствие этого гранат не встречается в прямых контактах с первичными порфиробластами Cpx^1 , Hbl^1 и Pl^1 и отделен от них келифитовыми каймами и симплектитами. Для Grt - Cpx - и Grt - Hbl -термометрии были использованы составы внешних проградных краевых зон Grt и близко расположенных (но прямо не контактирующих) зерен Cpx^1 и Hbl^1 . Полученные таким образом приблизительные оценки температуры по Grt - Cpx -термометру Крога Равна [7] составляют 620–660°C, а по Grt - Hbl -термометру Л.Л. Перчука [8] – 630–670°C. С учетом первичного парагенезиса амфиболитов, в котором еще стабильны Ms, Czo(Zs) и Mrg, максимальные оценки пика метаморфизма в 620–660°C кажутся разумными, хотя и несколько завышенными. Оценка пикового давления при данной температуре по Grt - Cpx - Pl - Qtz -барометру [9] дает величины 8–9.5 кбар, что соответствует высокобарической эпидот-амфиболитовой или амфиболитовой фации. Стабильность весьма магнетизальных гранатов (до 36% Prp в краевой зоне) подтверждает высокобарический тип метамор-

физма, но крайне низкая примесь Jd (не более 3%) в первичных клинопироксенах говорит о том, что параметры эклогитовой фации на ранней стадии эволюции симплектитсодержащих амфиболитов не достигались.

Высокобарический характер метаморфитов Даховского выступа сближает их с эклогитсодержащим блыбским метаморфическим комплексом южной части Передового хребта [2, 10]. Но максимальные параметры давления для пород выступа более низкие, чем для блыбского комплекса, во всяком случае для той его части, которая представлена кианитовыми эклогитами, где давление могло достигать 16 кбар [10]. Остальные части разреза этого комплекса также несут явные признаки относительно высоких давлений при метаморфизме [1], однако точные оценки здесь не сделаны. В целом даховские и блыбские метаморфиты вместе с приуроченными к ним ультрабазитами маркируют широкую зону древней (допозднепалеозойской) субдукции, с функционированием которой могли быть связаны многие события на доальпийском этапе эволюции Большого Кавказа.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 02-05-64146 и 02-05-64081) и Программы INTAS, Project 01-242.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шенгелиа Д.М. Петрология палеозойских гранитоидов Северного Кавказа. Тбилиси: Мецниереба, 1972. 248 с.
1. Шенгелиа Д.М., Кориковский С.П., Чичинадзе Г.Л. и др. Петрология метаморфических комплексов Большого Кавказа. М.: Наука, 1991. 232 с.
3. Joanny V., van Roemund H., Lardeaux J.M. // *Geol. Rdsch.* 1991. Bd. 80. S. 303–320.
4. O'Brien P. // *J. Metamorph. Geol.* 1993. V. 11. P. 241–260.
5. Leake B.E., Wooley A.R., Arps C.E.S. et al. // *Eur. J. Miner.* 1997. V. 9. P. 623–651.
6. Korikovskiy S.P., Hovorka D. // *Petrology.* 2001. V. 9. P. 119–141.
7. Krogh Ravna E. // *J. Metamorph. Geol.* 2000. V. 18. P. 211–219.
8. Perchuk L.L. // *Geochem. Intern.* 1989. V. 12. P. 1–11.
9. Eckert J.O., Newton R.C., Kleppa O.J. // *Amer. Miner.* 1991. V. 76. P. 148–160.
10. Perchuk A.L., Philippot P. // *J. Metamorph. Geol.* 1997. V. 15. P. 299–310.