

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

УДК 551.24+.25+.22+.21/552.11(477.9)

ОСТРОВОДУЖНЫЕ ФЕРРОКОРДИЕРИТ-АЛЬМАНДИНОВЫЕ  
ПЛАГИОРИОЛИТЫ ГОРЫ КАСТЕЛЬ, ГОРНЫЙ КРЫМ

Э.М. СПИРИДОНОВ

*Московский государственный университет  
119991, Россия, г. Москва, МГУ, Воробьевы горы, 1; e-mail: ernstspiridon@gmail.com*

Дайковые плагиориолиты допозднеюрского возраста содержат реститовый гранат (ситовидные сростания спессартин-альмандин и кварца) и феррокордиерит. Гранаты таких облика и состава и с подобной зональностью — от центра к краям растёт содержание Mg и снижается содержание Mn, типичны для железистых метапелитов амфиболитовой фации. Состав пород, при палингенезе которых возник расплав плагиориолитов горы Кафель, вероятно, отвечал кордиерит-альмандиновым плагиогнейсам. Оценка параметров формирования этих метаморфических пород по составу граната и кордиерита  $\approx 550^\circ \text{C}$  и 4 кбар, т. е. это метаморфиты амфиболитовой фации умеренного давления. Высказано предположение, что Горно-Крымская тектоническая зона, возможно, была заложена на древнем кристаллическом фундаменте, на зрелой континентальной коре, вероятном продолжении на юг структур Русской платформы. Впервые в Крыму описан феррокордиерит — секанинаит. Часть граната и кордиерита замещены высокожелезистым хлоритом (дафнит) и пумпеллиитом-(Fe), часть биотита, титаномагнетита и ильменита — хлоритом, эпидотом, пумпеллиитом-(Fe) и минералом, промежуточным по составу между титанитом и вюньятитом. Итак, плагиориолиты подверглись метаморфизму в условиях прениит-пумпеллиитовой фации.

Ключевые слова: реститовые альмандин и феррокордиерит; хлорит — дафнит; пумпеллиит-(Fe); титанит — вюньятит; палингенез; фундамент складчатой области Горного Крыма.

THE ISLAND ARC FERROCORDERITE-ALMANDINE PLAGIORHYOLITES  
OF THE MOUNT KASTEL, MOUNTAIN CRIMEA

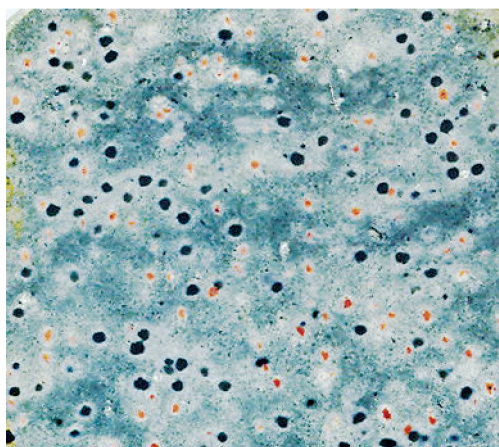
E.M. SPIRIDONOV

*Lomonosov Moscow State University  
119991, Russia, Moscow, GSP-1, Leninskie Gory, 1; e-mail: ernstspiridon@gmail.com*

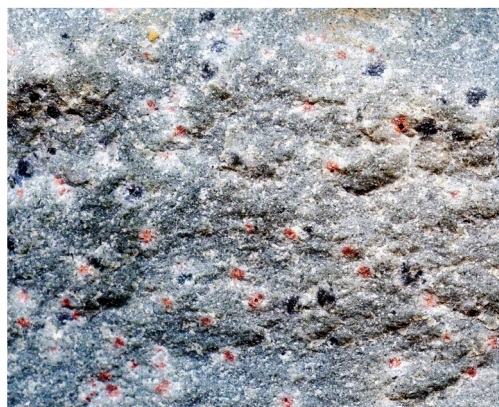
Plagio rhyolites of the Pre-Late Jurassic dyke contain restitegarnet (cribrate intergrowths of almandine-spessartine and quartz) and ferrocordierite. The garnets of such habit and composition and with such kind of zonality — the content of Mg increases and the content of Mn decreases from the center to the edges — are typical for ferriferous metapelites of amphibolite facies. Composition of the rocks, during palingenesis of which the melt of plagioryholites of the Mount Kastel formed, probably corresponded to the cordierite-almandine plagiogneisses. An assessment of the parameters of these metamorphic rocks forming according garnet and cordierite compositions is  $\approx 550^\circ \text{C}$  and 4 kbar, so they are metamorphic rocks of the amphibolite facies of moderate pressure. There is an assumption, that Mountain Crime a tectonic zone was possibly formed on the ancient crystalline basement, on the mature continental crust, possible continuation of the structures of Russian Platform to the south. Ferro cordierite — sekaninaite has been described in Crimea for the first time. A part of garnet and cordierite was replaced by highly ferriferous chlorite (daphnite) and pumpellyite-(Fe), a part of biotite, titanomagnetite and ilmenite — by chlorite, epidote, pumpellyite-(Fe) and mineral with intermediate composition between titanite and vuagnatite. The reby, plagio rhyoltes were subjected by metamorphism of prehnite-pumpellyite facies.

Key words: restite garnet — almandine and ferrocordierite — sekaninaite; chlorite — daphnite; pumpellyite-(Fe); titanite — vuagnatite; palingenesis; basement of folded area of the Mountain Crime.

Горный Крым — часть грандиозного Альпийско-Гималайского складчатого пояса [13]. Горный Крым представляет собой мезозойское (кimmerийское) покровно-складчатое сооружение, состоящее из двух структурных зон — северной — Лозовской зоны смятия и южной — Горно-Крымской тектонической зоны [2, 5, 7]. Существуют различные представления о типе фундамента складчатой области Горного Крыма. Лучший знаток геологии Крыма — Михаил Владимирович Муратов полагал, что под мезозойскими складчатыми сооружениями Горного Крыма продолжают структуры выделенной им в северной части Крыма эпигерцинской Скифской плиты [7]. Некоторые геологи допускали наличие коры океанического типа [10, 14]. Определённый интерес для решения данной проблемы могут представлять результаты изучения гранатовых плагиориолитов дайки на южном склоне горы Кабель в окрестностях Алушты. В Крыму



**Рис. 1.** Плагиориолиты горы Кабель с вкраплениями розово-красного граната; часть граната и почти весь кордиерит замещены железистым хлоритом (тёмно-зелёные пятна). 47×45 мм; коллекция Ю.А. Полканова, фото Э.М. Спиридонова



**Рис. 2.** Плагиориолиты горы Кабель с вкраплениями розово-красного граната и бурого феррокордиерита; коллекция геологического музея Крымского полигона МГУ, обр. № Ю-411. 52×43 мм, фото Э.М. Спиридонова

эти своеобразные породы (рис. 1, 2) получили название «форелевый камень» [9].

### Магматические образования Горного Крыма

Магматические образования развиты в Горном Крыму относительно нешироко, слагая значительно менее 10 % объёма складчатого комплекса [4]. Горный Крым — складчатая область с редуцированной историей геологического развития. Типичные образования океанической стадии развития складчатых областей — офиолитовая формация и её наиболее яркие представители — альпинотипные гипербазиты (дунит-гарцбургитовый комплекс) мезозойского возраста в Крыму достоверно не установлены. Малые тела апогипербазитовых антигоритовых серпентинитов вскрыты в скважине Р-1 в районе г. Симферополь под мезозойскими отложениями [14]. Уровень метаморфизма данных серпентинитов отвечает фации зелёных сланцев. Условия метаморфизма мезозойских осадочных и вулканических толщ и интрузивных образований Крыма отвечают цеолитовой и низкотемпературной части пренит-пумпеллитовой фаций [11]. Судя по степени метаморфизма вскрытых скважиной Р-1 антигоритовых серпентинитов, это фрагменты домезозойских офиолитов. Мелкие тела интрузивных пикритов и ассоциирующих оливиновых габброидов под Балаклавой, выявленные В.И. Лысенко (филиал МГУ в Севастополе) более 15 лет назад, ошибочно отнесены к офиолитовой формации [10]. Аналогичные породы ранее были вскрыты в ряде глубоких скважин в районе Симферополя и описаны В.В. Плоско как ассоциация пикритов и кварцевых диабазов [8]. По геологическим соотношениям, составу горных пород и минералов (оливин — железистый хризолит — гиалосидерит, хромшпинелиды, обогащённые Ti и Zn) это — образования островодужной пикрит-габбро-норит-долеритовой формации — Первомайско-Аюдагского интрузивного комплекса [12]. Таким образом, наличие в Горном Крыму мезозойской офиолитовой формации и представление об океанической природе фундамента складчатой области Горного Крыма реально не доказаны.

Значительную часть складчатого комплекса Горного Крыма слагают образования островодужной стадии — толщи среднетриасового — раннеюрского возраста шельфовой глинисто-терригенной эскиордынской серии и более глубоководной флишевой таврической серии, сложно дислоцированные, местами филлитизированные. Они несогласно перекрыты конгломерато-песчано-глинистыми, зачастую угленосными, отложениями среднеюрского возраста, которые заметно дислоцированы. Терригенные толщи пересечены и контактово метаморфизованы небольшого размера плутонами раннебайосских кварцевых габбро-норит-до-



леритов и кварцевых габбро-норит-диоритов до пикритовых габбро-долеритов и пикритов, с одной стороны, и до кварцевых диоритов, плагиогранитов и гранофировых гранитов — с другой. Это первомайско-аюдагский интрузивный комплекс, который выделили Э.М. Спиридонов и Т.О. Фёдоров [12], наиболее древние из среднеюрских магматических образований Горного Крыма. Они прорваны жерловинами лавовых брекчий базальтов и дайками базальтов и андезитов позднебайосской бодракско-карадагской вулканической серии. К первомайско-аюдагскому комплексу принадлежит большая часть интрузивных образований Горного Крыма. Эти интрузивы внедрялись механически активно, дополнительно сминая, раздвигая и пронизывая дислоцированные толщи рамы интрузивов. Можно полагать, что внедрение мантийных базитовых магм данного комплекса сопровождало и завершило процесс раннебайосской складчатости.

В позднем байоссе на юге Горного Крыма возникла вулканическая островная дуга, в значительной части субмаринная. Цепочка вулканических массивов бодракско-карадагской серии и субвулканических тел бодракско-карадагского комплекса протягивается от Балаклавы — Севастополя на западе до Карадага на востоке [3, 4, 7, 12]. Вулканисты имеют типичные островодужные характеристики, что впервые показано в [12] и подтверждено новейшими исследованиями [18]. Вулканисты позднего байосса запада Крыма наименее щелочные, по составу близки к толеитовым, среди них минимальна доля кремнекислых пород. Вероятно, они возникли во внешней «приокеанической» зоне островной дуги. Вулканисты востока Крыма—Карадага наиболее щелочные по составу, среди них немало шошонитов — латитов, повышена доля кремнекислых пород [3]. Вероятно, они возникли в тыловой, «приконтинентальной» зоне вулканической островной дуги [12]. С вулканистами карадагской серии связаны проявления колчеданного оруденения.

Одно из наиболее интересных магматических образований Горного Крыма — дайка гранатовых плагиориолитов горы Кастель [4, 9]. Дайка сечёт интенсивно дислоцированную толщу флиша таврической серии. Эти плагиориолиты в заметной степени захвачены эпигенетичным низкоградным метаморфизмом пренит-пумпеллиитовой фации. Возраст этого метаморфизма отвечает началу поздней юры [11]. Поэтому вероятный возраст плагиориолитов — конец средней юры. Это одно из своеобразных островодужных магматических образований Горного Крыма.

Островодужный этап развития Горного Крыма завершили покровно-складчатые дислокации примерно на границе средней и поздней юры [5], которые сопровождалась внедрением мелких интрузивов плагиогранитоидов и даек гранитоид-порфиров [12].

Более молодые, послеостроводужные, субсеквентные вулканисты мелового балаклавского базальт-андезит-дацит-риолитового комплекса развиты на западе Горного Крыма. С балаклавским вулканическим комплексом связаны зоны аргиллизации и кварцево-жильные проявления с пиритом, сфалеритом, самородным золотом и антимонитом.

### Материалы и методы исследования

Изучены образцы форелевого камня, полученные от Ю.А. Полканова (Симферополь) (рис. 1) и от Л.Ф. Копаевич из коллекции музея Крымского полигона МГУ (образец № Ю-411) (рис. 2). Образцы исследованы микроскопически и с помощью электронного микронзонда. Фотографии в режиме электронного микроскопа и химический анализ минералов выполнила Н.Н. Коротаева с помощью аналитического комплекса с комбинированной системой микроанализа на базе СЭМ Jeol JSM-6480 LV (лаборатория локальных методов исследований кафедры петрологии геологического факультета МГУ).

### Гранатовые плагиориолиты горы Кастель

Плагиориолиты — светлосерые фельзитовые породы с мелкими вкрапленниками плагиоклаза и кварца, с относительно редкими вкраплениями до 2 мм розовато-красного граната (рис. 1, 2). Участки пород, в заметной степени метаморфизованные, окрашены в зеленоватый цвет, часть граната в них замещена тёмно-зелёным железистым хлоритом (рис. 1). Валовый химический состав пород дайки, мас. %: SiO<sub>2</sub> 75,06; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,07; TiO<sub>2</sub> 0,10; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 14,15; FeO 1,59; MnO 0,26; MgO 0,11; CaO 2,43; Na<sub>2</sub>O 4,86; K<sub>2</sub>O 1,15; ппп 0,35; сумма 100,22 %. По составу — это типичные островодужные плагиориолиты, обогащённые глинозёмом, высоко железистые и высоко кальциевые, с резким преобладанием натрия над калием.

Породы слагают вкрапленники — таблицы плагиоклаза и округлые кристаллы кварца и связующая масса из микролитов плагиоклаза, мелких и мельчайших выделений кварца, биотита, титаномагнетита, апатита, ильменита. Размер вкрапленников плагиоклаза до 3 мм. Центральные зоны вкрапленников сложены низко калиевым высоко кальциевым андезином состава Ca<sub>48,3-41,3</sub>Na<sub>51,2-58,1</sub>K<sub>0,4-0,6</sub> (n = 6). Внешние зоны — каймы вкрапленников сложены натровым андезином состава Ca<sub>39,6-38,3</sub>Na<sub>58,4-59,5</sub>K<sub>2,0-2,2</sub> (n = 4). Микролиты цементующей массы слагает олигоклаз, изредка калиевый олигоклаз состава Ca<sub>19,3</sub>Na<sub>69,8</sub>K<sub>10,9</sub>. Размер редких вкрапленников кварца округлой формы до 2 мм. В связующей массе немало мелких выделений титаномагнетита, который испытал окисли-

тельный отжиг и превращён в агрегат магнетита (матрица) с массой тонких пластинчатых ламеллей ильменита. Валовый состав титаномагнетита, мас. %:  $\text{TiO}_2$  6,22;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  48,58;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  6,65;  $\text{V}_2\text{O}_5$  0,08;  $\text{FeO}$  35,97;  $\text{MnO}$  1,30;  $\text{ZnO}$  0,18;  $\text{MgO}$  0,20; сумма 99,18 %; Cr, Ni — не обнаружены; содержания  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{FeO}$  рассчитаны по стехиометрии. Особенность титаномагнетита — крайне низкие содержания ванадия, что исключает даже небольшое участие расплава базитового состава. Состав титаномагнетита плагиориолитов горы Кастель в миналах, мол. %: шпинель  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  1,1; герцинит  $\text{FeAl}_2\text{O}_4$  13,0; ганит  $\text{ZnAl}_2\text{O}_4$  0,5; кулсонит  $\text{FeV}_2\text{O}_4$  0,2; ульвошпинель  $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$  17,4; магнетит  $\text{FeFe}_2\text{O}_4$  63,7; якобит  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$  4,1.

Вкрапления макроскопически розово-красного граната размером от нескольких долей до 1,5 мм, придающие камню сходство со спинкой форели, под микроскопом выглядят как амёбовидные неправильной формы ситовидные кварц — гранатовые сростания (рис. 3, 4). Структура этих сростаний гранобластовая, количество граната и кварца в них примерно равны. Такую форму и структуру нередко имеют порфиروбласты граната в бедных калием метапелитах [1, 6, 16]. Гранат описываемых сростаний по составу однотипно плавно зональный (табл. 1, 2). В центре сростаний — это спессартин-альмандин с 66–68 % минала альмандина  $\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ , 24–26 % минала спессартина  $\text{Mn}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ , 4–5 % минала пироба  $\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ . К внешней части сростаний содержание марганца (минала спессартина) в гранате плавно снижается, а содержание магния (минала пироба) плавно растёт. Гранат внешней части сростаний — это Mn — Mg альмандин с 75–77 % минала альмандина, 8–10 % спессартина, 9–11 % пироба (табл. 1, 2). Гранаты такого облика (порфиробласты), состава и с такой зональностью типичны для железистых метапелитов амфиболитовой фации [1, 6, 17, 19, 21, 22]. Итак, ситовидные кварц-гранатовые сростания в плагиориолитах горы Кастель — не вкрапленники, а рестины, тугоплавкие остатки от плавления протолита.

В кварц-гранатовых сростаниях присутствует небольшое количество мелких короткопризматических кристаллов гидроксилфторапатита (рис. 4). Его состав, мас. %: CaO 51,28 и 47,46;  $\text{Na}_2\text{O}$  0,31 и 0,36; MnO 2,16 и 3,13; FeO 1,67 и 3,95;  $\text{Y}_2\text{O}_3$  0,26 и 0,30;  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  0,28 и 0,32;  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  0,25 и 0,39;  $\text{P}_2\text{O}_5$  41,59 и 41,31;  $\text{SiO}_2$  0,39 и 0,34; F 2,92 и 2,38; сумма — O = F<sub>2</sub> 99,88 и 98,95; формулы —  $(\text{Ca}_{4,64}\text{Mn}_{0,15}\text{Fe}_{0,12}\text{Na}_{0,05}\text{Y}_{0,01}\text{Ce}_{0,01}\text{Nd}_{0,01})_{4,99}[(\text{PO}_4)_{2,98}(\text{SiO}_4)_{0,03}]_{3,01}(\text{F}_{0,78}\text{OH}_{0,22})_1$  и  $(\text{Ca}_{4,36}\text{Fe}_{0,28}\text{Mn}_{0,23}\text{Na}_{0,06}\text{Y}_{0,01}\text{Ce}_{0,01}\text{Nd}_{0,01})_{4,96}[(\text{PO}_4)_3(\text{SiO}_4)_{0,03}]_{3,03}(\text{F}_{0,65}\text{OH}_{0,35})_1$ . Таким образом, апатит в ассоциации со спессартин-альмандиновым гранатом весьма богат марганцем и железом, содержит около 1 % суммы лантанидов и иттрия; некоторая часть групп  $\text{PO}_4$  замещена  $\text{SiO}_4$

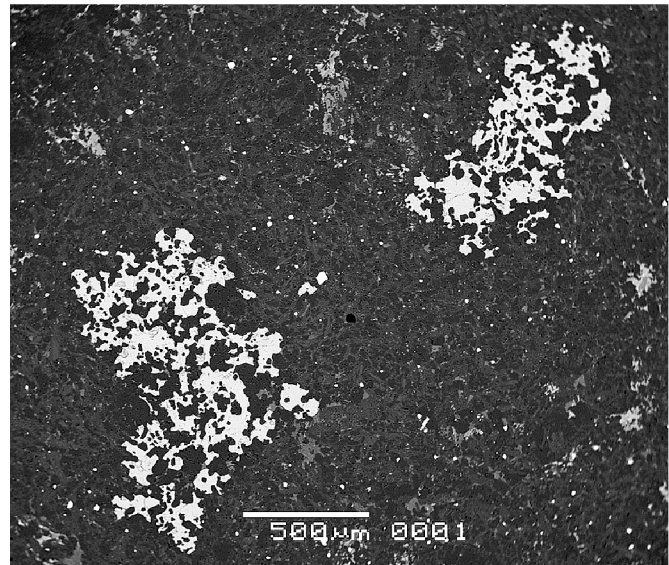


Рис. 3. Неправильной формы рестиновые порфиробласты — ситовидные сростания спессартин-альмандинового граната (белый) (левый — табл. 1, ан. 1-5) и кварца (чёрный) в тонкокристаллической матрице плагиориолитов; фото в отражённых электронах

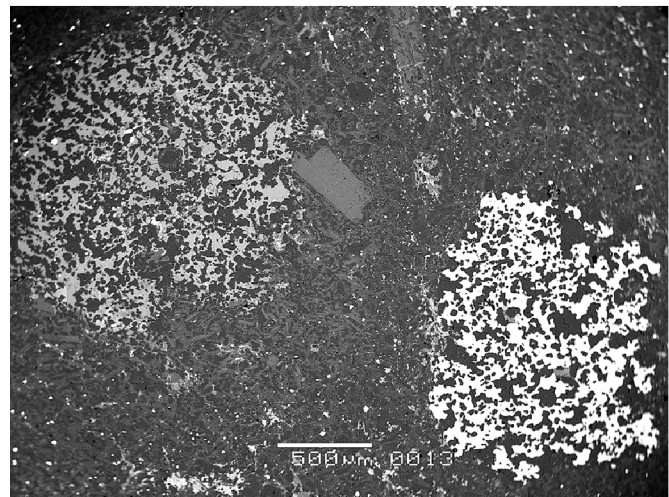


Рис. 4. Амёбовидной формы рестиновые порфиробласты — ситовидные сростания спессартин-альмандинового граната (белый) (табл. 2, ан. 6–9) и кварца (чёрный) в тонкокристаллической матрице плагиориолитов; левый порфиробласт граната замещён железистым хлоритом — дафнитом; на фоне кварца и хлорита заметны мелкие короткопризматические кристаллы апатита (белые); фото в отражённых электронах

Вкрапления макроскопически бурого кордиерита размером 0,5–3, обычно 1,5–2,5 мм распределены в плагиориолитах неравномерно, в одних участках с поперечником до 30–50 мм их почти нет, в других примерно того же размера их содержание около 3 %, в отдельных линзовидных участках размером до 70×30 мм их содержание достигает 5–7 %. Под микроскопом они представляют собой реликты кордиерита в агрегатных сростаниях железистого хлорита и железистого пумпеллиита. По составу кордиерит высокожелезистый, его состав



Таблица 1

**Химический состав реститового альмандина (мас. %), реликтовый кварц-гранатовый порфиробласт 1, дайка плаггионолитов горы Кастель**

Компоненты	1 (центр)	2 (промежуточная зона)	3 (пром. зона)	4 (промежуточная зона)	5 (край)
SiO <sub>2</sub>	35,11	35,41	36,22	36,48	36,22
TiO <sub>2</sub>	0,17	0,22	0,18	0,14	0,17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,91	20,19	20,53	20,65	20,63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,54	2,62	1,49	0,90	1,27
FeO	28,10	30,05	33,39	33,71	33,33
MnO	10,97	9,21	5,89	4,82	4,35
MgO	1,21	1,26	1,86	2,6	2,78
CaO	0,61	0,70	0,59	0,60	0,61
Сумма	98,62	99,66	100,15	99,76	99,36
Число атомов в формуле в расчете на 8 атомов металлов					
Fe <sup>2+</sup>	1,961	2,076	2,280	2,297	2,276
Mn	0,775	0,644	0,407	0,332	0,300
Mg	0,150	0,155	0,226	0,299	0,339
Ca	0,055	0,062	0,052	0,052	0,053
Fe <sup>3+</sup>	0,049	0,063	0,035	0,020	0,032
Al <sup>VI</sup>	1,888	1,887	1,933	1,956	1,944
Fe <sup>3+</sup>	0,101	0,099	0,056	0,035	0,046
Ti	0,011	0,014	0,011	0,009	0,010
Si	2,930	2,923	2,958	2,973	2,958
Al <sup>IV</sup>	0,070	0,077	0,042	0,027	0,042
Содержания миналов, мол. %					
Спессартин	26	21	14	11	10
Пироп	5	5	8	10	11
Альмандин	64	68	76	77	76
Андрадит и иные	5	6	2	2	3

Примечание. Электронный микросонд Cameca, аналитик Н.Н. Коротаева, количества FeO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> рассчитаны по стехиометрии.

Таблица 2

**Химический состав реститового альмандина (мас. %), реликтовый кварц-гранатовый порфиробласт 2, дайка плаггионолитов горы Кастель**

Компоненты	6 (центр)	7 (пром. зона)	8 (пром. зона)	9 (край)
SiO <sub>2</sub>	35,46	35,87	35,75	36,41
TiO <sub>2</sub>	0,28	0,18	0,18	0,28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,53	20,50	20,32	19,88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,95	2,24	1,93	1,30
FeO	29,77	32,29	32,27	32,92
MnO	9,38	6,87	6,62	5,38
MgO	1,47	1,72	1,78	2,58
CaO	0,59	0,58	0,59	0,61
Сумма	100,44	100,15	99,44	99,36
Число атомов в формуле в расчете на 8 атомов металлов				
Fe <sup>2+</sup>	2,038	2,207	2,221	2,257
Mn	0,650	0,475	0,462	0,373
Mg	0,179	0,210	0,219	0,315
Ca	0,052	0,051	0,052	0,054
Fe <sup>3+</sup>	0,081	0,057	0,046	0,001
Al <sup>VI</sup>	1,882	1,907	1,915	1,906
Fe <sup>3+</sup>	0,101	0,082	0,074	0,080
Ti	0,017	0,011	0,011	0,014
Si	2,902	2,932	2,943	2,985
Al <sup>IV</sup>	0,098	0,068	0,057	0,015
Содержания миналов, мол. %				
Спессартин	22	17	16	12
Пироп	6	7	7	11
Альмандин	68	74	75	75
Андрадит и иные	4	2	2	2

Примечание. Электронный микросонд Cameca, аналитик Н.Н. Коротаева, количества FeO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> рассчитаны по стехиометрии.

Химический состав (мас. %) реститового феррокордиерита — секанинита (дайка плаггиориолитов горы Кагель)

Компоненты	10	11	Число атомов в формуле в расчете на 11 атомов металлов	10	11
SiO <sub>2</sub>	46,78	47,03	Fe <sup>2+</sup>	1,124	1,012
TiO <sub>2</sub>	следы	следы	Mn	0,054	0,082
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32,11	32,17	Mg	0,624	0,642
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,11	2,82	Fe <sup>3+</sup>	0,121	0,155
FeO	12,70	11,52	Ca	0,007	0,013
MnO	0,60	0,92	Na	0,070	0,096
MgO	3,96	4,10	Al VI	2,953	2,924
CaO	0,06	0,12	Fe <sup>3+</sup>	0,047	0,076
Na <sub>2</sub> O	0,34	0,47	Si	4,949	4,941
сумма	98,66	99,25	Al IV	1,051	1,059

Примечание. Электронный микрозонд Camebax, аналитик Н.Н. Коротаяева, количества FeO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> рассчитаны по стехиометрии.

отвечает формуле  $(Fe^{2+}_{1,01-1,12}Mg_{0,62-0,64}Fe^{3+}_{0,11-0,16}Mn_{0,05-0,08}Na_{0,07-0,10}Ca_{0,01})_2(Al_{2,92-2,95}Fe^{3+}_{0,05-0,08})_3[(Si_{4,94-4,95}Al_{0,05-0,06})_6O_{18}]$ ,  $f$  общ. 67,5–68,5 (табл. 3). Феррокордиерит = секанинит, по [20], описан в Крыму впервые.

Помимо реститовых кварц-гранатовых сростаний и феррокордиерита, плаггиориолиты содержат мелкие кристаллы реститового циркона со следами растворения на внешней стороне кристаллов и с лакунами внутри (рис. 5).

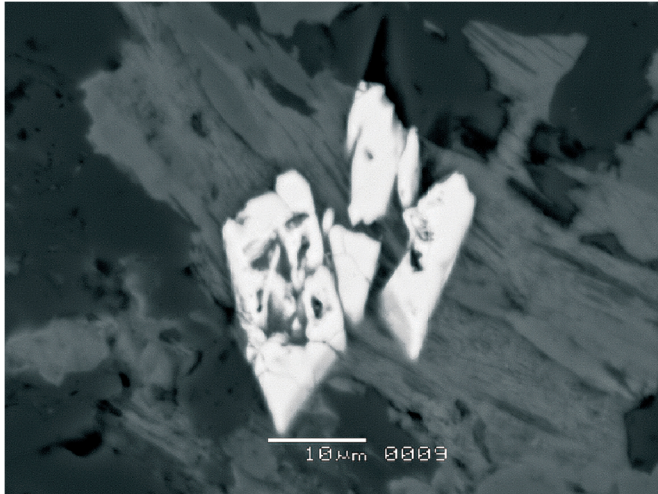


Рис. 5. Реликтовые реститовые кристаллы циркона (светлые), частично растворённые, с мелкими лакунами, обросшие биотитом; плаггиориолиты горы Кагель; фото в отражённых электронах

Вероятный состав пород, при палингенезе которых возник расплав плаггиориолитов горы Кагель с реститовыми кварц-гранатовыми сростаниями, феррокордиеритом и цирконом, возможно, отвечал кордиерит-альмандиновым плаггиогнейсам. Оценка параметров формирования этих метаморфических пород по составу реститовых граната и кордиерита  $\approx 550^\circ C$  и 4 кбар [6, 15, 17, 19], т. е. это метаморфиты амфиболитовой фации умеренных давлений.

### Продукты низкоградного метаморфизма плаггиориолитов

Плаггиориолиты Кагели слабо тектонизированы и весьма неоднородно захвачены эпигенетичным низкоградным метаморфизмом. В отдельных участках практически весь феррокордиерит и заметная часть граната замещены хлоритом и пумпеллиитом, биотит, титаномагнетит и ильменит — хлоритом, эпидотом, пумпеллиитом и минералом, промежуточным по составу титанитом и вюльенитом. В других участках практически весь гранат свежий (рис. 3), в соседних — замещена часть граната (рис. 4). Столь неравномерная степень замещения — характерная черта низкотемпературного метаморфизма.

Из метаморфогенных минералов наиболее распространён хлорит, заместивший спессартин-альмандин, высоко железистый и содержит >1 % Mn, его состав, мас. %: SiO<sub>2</sub> 22,76 и 24,40; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 19,41 и 18,84; FeO 37,78 и 39,73; MnO 1,03 и 1,63; MgO 4,76 и 4,81; ZnO 0,29 и следы; сумма 86,03 и 89,41; формулы —  $(Fe^{2+}_{3,70}Al_{1,34}Mg_{0,83}Mn_{0,10}Zn_{0,02})_6[(Si_{2,66}Al_{1,34})_4O_{10}](OH)_8$  и  $(Fe^{2+}_{3,76}Al_{1,27}Mg_{0,81}Mn_{0,16})_6[(Si_{2,76}Al_{1,24})_4O_{10}](OH)_8$ ,  $f = 81,2$  и  $82,8$ . По классификации М. Хейя, это — редкий тип хлорита — дафнит. Хлорит, заместивший феррокордиерит, беднее марганцем, — мас. %: SiO<sub>2</sub> 23,35; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 18,71; FeO 38,55; MnO 0,96; MgO 4,75; ZnO 0,22; сумма 86,54; формула —  $(Fe^{2+}_{3,76}Al_{1,30}Mg_{0,83}Mn_{0,09}Zn_{0,02})_6[(Si_{2,73}Al_{1,27})_4O_{10}](OH_{8,97}O_{0,03})_8$ ,  $f = 82,3$ . По классификации М. Хейя, это дафнит. Распространённый метаморфогенный минерал — пумпеллиит-(Fe), его состав, мас. %: SiO<sub>2</sub> 36,27 и 37,05; TiO<sub>2</sub> следы и 0,10; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 23,42 и 24,06; FeO 8,68 и 9,60; MnO 0,10 и 0,26; MgO 1,10 и 0,84; CaO 22,20 и 21,75; Na<sub>2</sub>O следы и 0,22; Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,22 и 0,18; сумма 91,99 и 94,06; формулы —  $(Ca_{1,97}Mn_{0,01}Y_{0,01})_{1,99}(Fe^{2+}_{0,59}Al_{0,28}Mg_{0,14})_{1,01}Al_2[(OH_{0,71}O_{0,29})_1/OH/H_2O/SiO_4/Si_2O_7]$  и  $(Ca_{1,89}Na_{0,03}Mn_{0,01}Y_{0,01})_{1,95}(Fe^{2+}_{0,64}Al_{0,30}Mg_{0,10})_{1,05}Al_2[(OH_{0,70}O_{0,30})_1/OH/H_2O/SiO_4/Si_2O_7]$ ,  $f = 81,7$  и  $86,8$ . Состав мета-

морфогенного эпидота, мас. %:  $\text{SiO}_2$  37,49;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  23,25;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  13,50;  $\text{FeO}$  0,15;  $\text{MnO}$  0,37;  $\text{MgO}$  следы;  $\text{CaO}$  22,85; сумма 97,61; формула —  $(\text{Ca}_{1,96}\text{Mn}_{0,03}\text{Fe}^{2+}_{0,01})_2(\text{Al}_{2,19}\text{Fe}^{3+}_{0,81})_3[\text{O}/\text{OH}/\text{SiO}_4/\text{Si}_2\text{O}_7]$ . Состав метаморфогенного минерала, который микроскопически не отличим от титанита, мас. %:  $\text{SiO}_2$  32,79;  $\text{TiO}_2$  20,23;  $\text{V}_2\text{O}_5$  0,28;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  13,63;  $\text{FeO}$  2,49;  $\text{MnO}$  следы;  $\text{MgO}$  0,16;  $\text{CaO}$  27,97;  $\text{Y}_2\text{O}_3$  0,36; сумма 97,82; формула  $(\text{Ca}_{0,93}\text{Y}_{0,01})_{0,94}(\text{Al}_{0,50}\text{Ti}_{0,48}\text{Fe}^{2+}_{0,06}\text{V}_{0,01})_{1,05}[\text{Si}_{1,01}\text{O}_4/(\text{O}_{0,56}\text{OH}_{0,44})_1]$ . Состав этого минерала промежуточный между титанитом  $\text{CaTi}[\text{SiO}_4/\text{O}]$  и вюньятитом  $\text{CaAl}[\text{SiO}_4/\text{OH}]$  [20], с незначительным преобладанием минерала вюньятита. Минерал обнаружен в Крыму впервые.

Таким образом, плагиориолиты подверглись метаморфизму в условиях пренит-пумпеллиитовой фации.

### Заключение

Одно из интереснейших островодужных магматических образований Горного Крыма — дайка плагиориолитов горы Кагель допозднеюрского возраста, секущая дислоцированную толщу флиша таврической серии  $T_2$ — $J_1$ . Плагиориолиты Кагеля содержат вкрапления реститовых феррокордиерита и ситовидных сростаний спессартин-альмандин с кварцем. Гранаты такого облика и состава и с такой зональностью — от центра к краям в них

растёт содержание Mg и снижается содержание Mn — типичны для железистых метапелитов амфиболитовой фации. Состав пород, при палингенезе которых возник расплав плагиориолитов горы Кагель, вероятно, отвечал кордиерит-альмандиновым плагиогнейсам; оценка параметров их формирования по составу граната и кордиерита  $\approx 550^\circ\text{C}$  и 4 кбар.

В плагиориолитах горы Кагель часть граната и феррокордиерита замещены высоко железистыми хлоритом — дафнитом и пумпеллиитом, часть биотита, титаномагнетита и ильменита — хлоритом, эпидотом, пумпеллиитом-(Fe) и минералом, по составу промежуточным между титанитом и вюньятитом. Таким образом, плагиориолиты подверглись метаморфизму в условиях пренит-пумпеллиитовой фации.

Фактические данные — реститовые гранат (спессартин-альмандин) и кордиерит амфиболитовой фации метаморфизма в юрских плагиориолитах горы Кагель — позволяют предположить, что основная структурная зона складчатой области Горного Крыма — Горно-Крымская могла быть заложена на древнем кристаллическом фундаменте, на зрелой континентальной коре, продолжении на юг структур Украинского щита Русской платформы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 16-05-00241).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Авченко О.В. Петрогенетическая информативность гранатов метаморфических пород. М.: Наука, 1982. 103 с.
2. Геология СССР. Том VIII. Крым. Часть 1. Геологическое описание. М.: Недра, 1969. 576 с.
3. Левинсон-Лессинг Ф.Ю. Вулканическая группа Карадага в Крыму. Л.: Изд-во. АН СССР, 1933. 150 с.
4. Луцицкий В.И. Петрография Крыма. Петрография СССР. Серия 1. Региональная петрография. Выпуск 8. М.-Л.: Изд-во. АН СССР, 1939. 98 с.
5. Милеев В.С., Барабошкин Е.Ю., Розанов С.Б., Рогов М.А. Тектоника и геодинамическая эволюция Горного Крыма // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2009. Т. 84. Вып. 3. С. 3–21.
6. Миясиро А. Метаморфизм и метаморфические пояса. М.: Мир, 1976. 536 с.
7. Муратов М.В. Геология Крымского полуострова. Руководство по учебной геологической практике в Крыму. Том II. М.: Недра, 1973. 192 с.
8. Плошко В.В. Ассоциация пикритов и кварцевых диабазов Крыма // Докл. АН СССР. 1979. Т. 244. С. 442–445.
9. Попов С.П. Минералогия Крыма. М.: Изд-во АН СССР, 1938. 352 с.
10. Промыслова М.Ю., Дёмина Л.И., Бычков А.Ю., Гушин А.И., Царёв В.В. Природа магматизма района мыса Фиолент (Юго-Западный Крым) // Вестн. МГУ. Серия 4. Геология. 2014. № 6. С. 14–22.
11. Спиридонов Э.М. Метаморфические и метасоматические образования Горного Крыма // Геологическое строение Качинского поднятия Горного Крыма. Т. II. М.: Изд-во МГУ, 1989. С. 136–152.
12. Спиридонов Э.М., Фёдоров Т.О., Ряховский В.М. Магматические образования Горного Крыма. Статьи 1 и 2 // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1990. Т. 65. Вып. 4. С. 119–134. Вып. 6. С. 102–112.
13. Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов. М.: Научный мир, 2001. 606 с.
14. Юдин В.В., Гошовский С.В., Еременко Г.К. Геологическая интерпретация скважины Симферопольская-1. В кн.: Геодинамика, сейсмичность и нефтегазоносность Черноморско-Каспийского региона. Симферополь: ДОЛЯ. 2005. С. 87–98.
15. Hensen B.J., Green D.H. Experimental study of the stability of cordierite and garnet in pelitic compositions of high pressures and temperatures. III. Synthesis of experimental data and geological applications // Contrib. Mineral. Petrol. 1973. Vol. 38. P. 151–166.
16. Johnson S.E. Porphyroblast microstructures. A review of current and future trends // Amer. Mineral. 1999. Vol. 84. P. 1711–1726.
17. Kepezhinskas K.B., Khlestov V.V. The petrogenetic grid and subsacies for middle temperature metapelites // J. Petrol. 1977. Vol. 18. P. 114–143.
18. Meijers M.J.M., Vrouwe B., van Hinsbergen D.J.J., Kuiper K.F., Wijbrans J., Davies G.R., Stephenson R.A., Kaymakçi N., Matenco L.Ю., Sainot A. Jurassic arc volcanism on Crimea: implications for the paleo-subduction zone configuration of the Black Sea region // Lithos. 2010. Vol. 119. P. 412–426.
19. Philpotts A.R., Ague J.J. Principles of igneous and metamorphic petrology. Cambridge University Press, 2009. 667 p.
20. Strunz H., Nickel E.H. Strunz mineralogical tables. Stuttgart, 2001. 870 s.
21. Tracy R.J., Robinson P., Thompson A.B. Garnet composition and zoning in the determination of temperature and pressure of metamorphism: central Massachusetts // Amer. Mineral. 1976. Vol. 61. P. 762–775.
22. Wolf M.B., Wylley P.J. Garnet growth during amphibolite anatexis: implications of a granatiferous restites // J. Geol. 1993. Vol. 101. P. 353–373.