

## АРФВЕДСОНИТ-ФЛОГОПИТОВЫЕ МИНЕТТЫ ГОРНОГО КРЫМА С ВЫСОКОСТРОНЦИЕВЫМ АПАТИТОМ

© 2021 г. поч. чл. Э. М. Спиридонов\*

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
Воробьевы Горы, 1, Москва ГСП-1, 119991 Россия*

*\*e-mail: ernstspiridon@gmail.com*

Поступила в редакцию 21.12.2020 г.

После доработки 23.12.2020 г.

Принята к публикации 11.02.2021 г.

Эпикиммерийские послееюрские дайки арфведсонит-флогопитовых минетт секут раннебайосские кварцевые габброиды и диориты Кушнарёвского и Петропавловского интрузивов и продукты их низкоградного метаморфизма позднеюрского возраста – агрегаты пренита, пумпеллиита и ломонтита (зона Бодракского разлома в Лозовской зоне киммерид Горного Крыма). Единичные вкрапленники оливина и авгита в минеттах замещены флогопитом. Ядра редких крупных вкрапленников слагает безфтористый флогопит с 2.1 мас. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и 6.8%  $\text{TiO}_2$ , вероятно, продукт мантийной кристаллизации. Внешние зоны вкрапленников слагает фтор-гидроксил-флогопит с 1.8–2.7 мас. % F, железистость  $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})$  которого от центра к краям кристаллов увеличивается от 7.8 до 22.6; содержание титана при этом возрастает от 1.4 до 3.1 мас. %, содержание хрома снижается от 0.5–0.7 мас. % до следов. Минетты крайне богаты фосфором, в среднем содержат 2.6 мас. %  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Ориентировка вкрапленников апатита и флогопита подчеркивает текстуры течения, как параллельные контактам даек, так и вихревые. Фторапатит-I содержит 1.9–6.6 мас. % SrO, обрастающий и замещающий его фторапатит-II – 16–21.6 мас. % SrO. Цементирующую массу минетт слагают призмьки санидина, арфведсонита и авгита, ксеноморфные кальцит или кварц, редкий пирит с вrostками барита, мелкие кристаллы циркона, титанита, галенита, монацита, ксенотима. Низкофтористый безглиноземистый арфведсонит обогащен Ti (4.2–5.2 мас. %  $\text{TiO}_2$ ), Mg, K. Циркон содержит (мас. %):  $\text{HfO}_2$  2.8,  $\text{REE}_2\text{O}_3$  5.2,  $\text{Y}_2\text{O}_3$  2.7,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  1.3,  $\text{ThO}_2$  1.2; отношение  $\text{ZrO}_2/\text{HfO}_2$  в нем составляет 19; редкоземельные элементы и итрий по содержаниям образуют следующий ряд:  $\text{Y} \gg \text{Ce} > \text{Nd} \gg \text{Gd}, \text{Sm} > \text{Dy}, \text{La}$ .

*Ключевые слова:* эпикиммерийские минетты, флогопит, высокостронциевый фторапатит, титанистый калиевый безглиноземистый арфведсонит, железосодержащий санидин, Горный Крым

DOI: 10.31857/S0869605521020106

### ВВЕДЕНИЕ

Горный Крым – часть грандиозной Альпийско-Гималайской складчатой системы (Хаин, 2001). Горный Крым – мезозойское, киммерийское покровно-складчатое сооружение, состоящее из северной Лозовской и южной Горно-Крымской тектонических зон (Короновский, Милеев, 1974; Милеев и др., 2006). Значительную часть складчатого комплекса Горного Крыма слагают образования островодужной стадии. Это терригенные флишевые толщи  $T_2$ – $J_1$  таврической и эскиордынской серий, слож-

но дислоцированные и несогласно перекрытые  $J_2$  угленосными конгломерато-песчано-глинистыми толщами, заметно дислоцированными. Более древние толщи слагают ядра антиклинальных структур: Качинского, Южнобережного и Туакского поднятий (Муратов, 1973). Терригенные толщи пересечены и контактово метаморфизованы небольшими плутонами раннебайосских габбро-норит-долеритов и близких пород первомайско-аюдагского интрузивного комплекса (Спиридонов и др., 1990, 2019; Морозова и др., 2012). К этому комплексу принадлежит большая часть интрузивов мезозоид Горного Крыма. Эти интрузивы пересечены жерловинами и дайками андезитов, базальтов и пикритов позднебайосской островодужной карадагской вулканической серии (Спиридонов и др., 1990; Никитин, Болотов, 2006, 2007). Палеотипные и кайнотипные вулканы карадагской серии имеют островодужные петрохимические характеристики (Спиридонов и др., 1990, 2017; Meijers et al., 2010). Более молодые, чем карадагская серия, образования представлены интрузивами фаялитовых плагиогранитов средне-позднеюрского кастьельского комплекса (Спиридонов, Путинцева, 2019), многокилометровыми терригенно-карбонатными толщами верхов средней и поздней юры (Муратов, 1973). Все эти образования тектонизированы и дислоцированы (Милев и др., 2006; Бискэ, 2007), захвачены региональным низкоградным метаморфизмом погружения (нагружения) позднеюрского возраста, протекавшим в условиях цеолитовой и пренит-пумпеллиитовой фаций (Спиридонов, 1989; Спиридонов и др., 2018).

Покровно-складчатый комплекс Горного Крыма несогласно перекрывают практически не дислоцированные отложения мела, палеогена и неогена. В их числе – раннемеловая балаклавская серия субсеквентных кайнотипных вулканических базальт-андезит-дацит-трахириолитового состава, размещенная в Западном Крыму (Лебединский, Добровольская, 1961). В Горно-Крымской зоне в бассейне р. Бодрак развиты единичные дайки керсутитовых габбро-долеритов мелового возраста (Морозова и др., 2017), секущие оливиновые габбро-норит-долериты первомайско-аюдагского комплекса. В зоне регионального Бодракского разлома установлены проявления мантийного щелочного магматизма, возможно, неоальпийского возраста – малого масштаба дайки флогопитовых минетт и ассоциирующих марганцовисто-железистых эгриновых карбонатитов, с которыми сопряжена Sb–Hg минерализация (Спиридонов, 2017). Описание этих минетт посвящена статья.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучена коллекция образцов, собранная автором в Первомайском и Петропавловском карьерах Горного Крыма. Химический состав минетт исследован в лабораториях геологического факультета МГУ. Состав минералов определен с помощью аналитического комплекса с комбинированной системой микроанализа на базе СЭМ Jeol JSM-6480 LV (лаборатория локальных методов исследований кафедры петрологии геологического факультета МГУ). Методика измерений стандартная (Рид, 2008). Фотографии в режиме отраженных электронов и микронзондовые анализы минералов выполнила аналитик-исследователь Н.Н. Коротаяева. В таблицах и на рисунках использована единая нумерация анализов минералов.

## БОДРАКСКИЙ РАЗЛОМ

Региональный Бодракский разлом глубокого заложения субширотного простирания разделяет северную Лозовскую и южную Горно-Крымскую тектонические зоны киммерид Горного Крыма. Разлом почти вертикальный. Домезозойский фундамент южного крыла расположен на 1000 м выше северного (Барыкина, Большаков, 1997). Эскиордынская серия  $T_2-J_1$  (терригенные флишоидные отложения континентально-го склона) развита к северу от Бодракского разлома. Таврическая серия  $T_2-J_1$  (терри-

генные флишевые отложения подножия континентального склона) расположена к югу от него. По Н.В. Короновскому и В.С. Милееву (1974), Бодракский разлом “обрубил” головную часть надвига, по которому эскиордынская толща была надвинута на таврическую.

Зона Бодракского разлома вмещает цепочку интрузивов габбро-норит-долеритов, габбро-диоритов, кварцевых диоритов первомайско-аюдагского комплекса раннебайосского возраста. Непосредственно в одной из главных ветвей Бодракского разлома размещен Кушнарёвский (Первомайский) интрузив габбро-норит-долеритов, кварцевых габбро-диоритов и диоритов, гранодиоритов и плагиогранитов первомайско-аюдагского комплекса. Очевидно, что Бодракский разлом был заложен ранее байоса.

В позднебайосское время Кушнарёвский интрузив был пересечен ветвями Бодракского разлома, по которым внедрились дайки базальтов, андезитов, магматических брекчий карадагской серии; мощность этих даек варьирует от 1–2 см до 3 м. При процессах регионального низкоградного метаморфизма позднеюрского возраста в зоне Бодракского разлома произошли заметные подвижки. Так, был сорван северный контакт Кушнарёвского интрузива, крутопадающие трещины срыва покрыты пленками и щетками ломонтита и кальцита, гейландита, пирита.

Судя по смещению меловых отложений, в послемеловое время северное крыло Бодракского разлома было поднято примерно на 200 м (Барыкина, Большаков, 1997).

Единичные маломощные дайки кайнотипных минетт и карбонатитов, не несущие никаких признаков тектонизации, развиты в центральной части Кушнарёвского и в краевой части Петропавловского интрузивов. На этом основании можно считать, что возраст этих щелочных магматитов – неоальпийский (Спиридонов, 2017). Их сопровождает Sb-Hg минерализация – гнезда и вкрапленность киновари, антимонита, Pb-Sb сульфосолей. Восточнее в зоне Бодракского разлома размещено довольно крупное Лозовское Sb-Hg проявление.

## МИНИ-ДАЙКИ МИНЕТТ ГОРНОГО КРЫМА

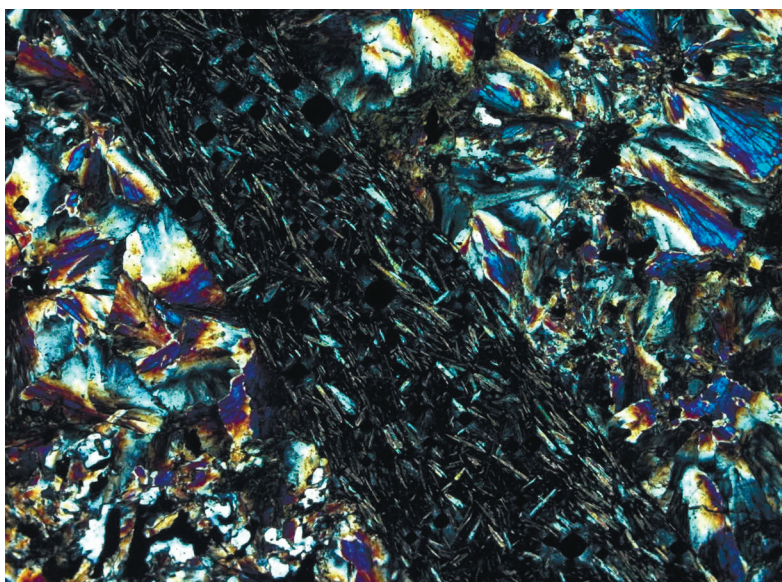
**Кушнарёвский интрузив.** Небольшие кусты мини-даек минетт наблюдались в различных участках этого интрузива, вскрытого Первомайским карьером строительного камня. Более крупные дайки плитообразной формы, мощность которых составляет от 1.5 до 7 см, прослежены по простиранию на 12–20 м, они секут под углами от 35° до 85° кварцевые габброиды, метаморфизованные габброиды и крупные гнезда пренита, пумпеллиита и ломонтита среди них (рис. 1). Это – породы черного цвета, тонкозернистые. В минеттах, слагающих наиболее мощную (7 см) дайку, различимы многочисленные пластинчатые вкрапленники флогопита. Кусты более мелких разноориентированных мини-даек, толщина которых редко достигает 2 мм, обычно размещены в участках интенсивно метаморфизованных габбро-диоритов с множеством гнезд пренита, пумпеллиита и гиролита. Контакты таких мини-даек прямолинейные, вкрапленники – пластины флогопита – ориентированы параллельно контактам даек, вдоль контактов развиты микрозернистые породы (рис. 2). Такие мини-дайки удалось проследить по простиранию на 20–110 см.

**Петропавловский интрузив.** Мини-дайки флогопитовых минетт мощностью до 3–5 мм (обычно <1.5 мм) обнаружены в краевой части интрузива, где они пересекли мелкокристаллические габбро-норит-долериты, брекчированные габбро-долериты и среди них – гнезда ломонтита, окрашенного лепидокрокитом в яркий розовый цвет. Максимальная прослеженная длина мини-даек минетт не превышает 30–50 см. Минетты – микро- и тонкозернистые, черного и смоляно-черного цвета.



**Рис. 1.** Маломощные дайки минетт (черные) секут метагаббро-диориты Кушнарёвского интрузива и гнезда пренита и ломонтита среди них. Придонная часть Первомайского карьера.

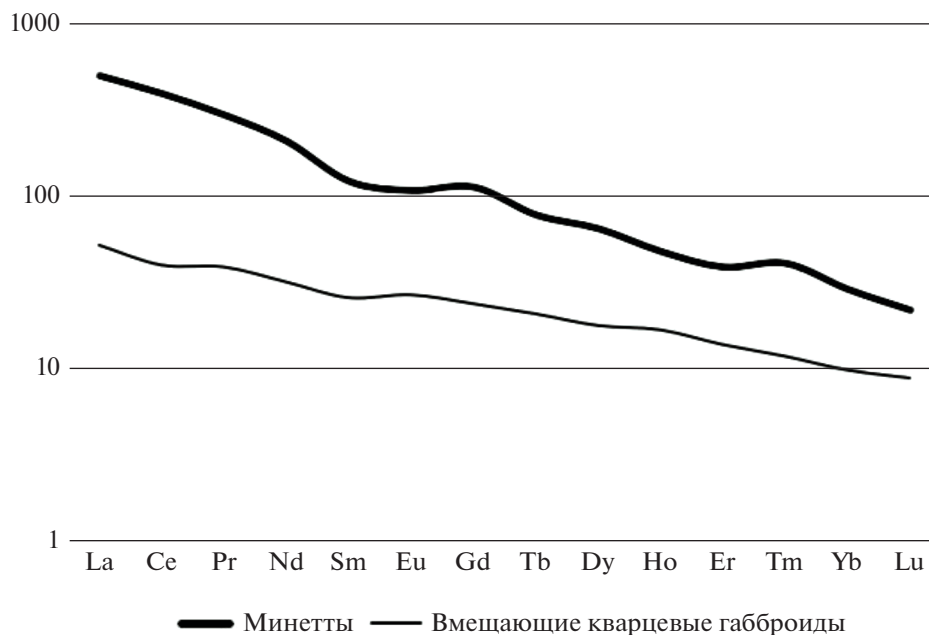
**Fig. 1.** Thin dykes of minette (black) crosscut metagabbro-diorite and nests of prehnite and laumontite in the Kushnaryov intrusive. The bottom part of the Pervomaisky pit.



**Рис. 2.** Мини-дайка минетт с вкрапленниками флогопита сечет гнездо пренита в метагаббро-диоритах Кушнарёвского интрузива. Первомайский карьер. Изображение в проходящем свете, николи скрещены. Ширина поля зрения 3 мм.

**Fig. 2.** Small minette dyke with phlogopite phenocrysts crosscuts the prehnite nest in metagabbro-diorites of the Kushnaryov intrusive. Pervomaisky pit. Transmitted light, crossed polars. The field of vision is 3 mm in width.





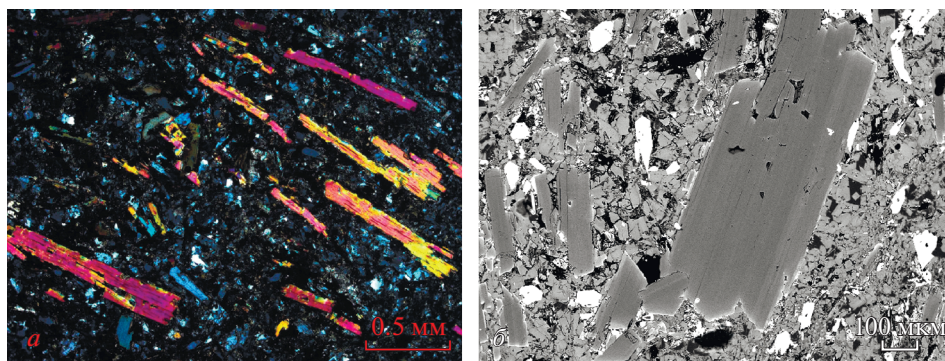
**Рис. 3.** Распределение лантанидов в арфведсонит-флогопитовых минеттах и вмещающих кварцевых габбро-диоритах Кушнарёвского интрузива. Содержание лантанидов нормировано по хондриту C1 (Sun, McDonough, 1989).

**Fig. 3.** REE patterns normalized to C1 chondrite (Sun, McDonough, 1989) of arfvedsonite-phlogopite minettes and host quartz gabbro-diorites of the Kushnaryov intrusive.

### СОСТАВ МИНЕТТ ГОРНОГО КРЫМА

Химический состав минетт из наиболее мощной дайки в габброидах Кушнарёвского интрузива следующий [мас. %, в скобках приведен состав минетт по данным А.Н. Заварицкого (1955)]: SiO<sub>2</sub> 49.86 (49.45), TiO<sub>2</sub> 1.66 (1.2), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2.68 (1.12), Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.04, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10.68 (14.41), FeO 6.24 (8.06), MnO 0.09 (0.13), MgO 8.21 (8.26), CaO 5.97 (6.73), Na<sub>2</sub>O 0.77 (2.54), K<sub>2</sub>O 8.13 (4.69), BaO 0.52, ППП 5.12 (3.04), сумма 99.97 (99.66) %. Крымские минетты менее глиноземистые, более магниезальные, в них значительно больше калия и меньше натрия, чем в минеттах по А.Н. Заварицкому; у крымских минетт отношение K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O равно 10.6 против 1.8 у минетт по А.Н. Заварицкому. По соотношению калия и натрия крымские минетты относятся к лампроитовой серии щелочных магматитов. Об этом же свидетельствует обогащенность крымских минетт барием и фосфором (апатитом). Содержание фосфора в крымских минеттах в 2.5 раза выше, чем в типичных минеттах по А.Н. Заварицкому.

Крымские минетты из наиболее мощной дайки в габброидах Кушнарёвского интрузива содержат (г/т): La 117.8, Ce 240.0, Pr 28.1, Nd 97.2, Sm 18.7, Eu 6.26, Gd 23.2, Tb 2.90, Dy 16.5, Ho 2.72, Er 6.45, Tm 1.05, Yb 4.93, Lu 0.56, сумма REE 566. Как и иные магматические щелочные породы мангитийного происхождения, крымские минетты обогащены легкими лантанидами, прежде всего церием, лантаном и неодимом, характеризуются выраженным европейским минимумом, что резко отличает их от вмещающих островодужных габброидов (рис. 3).



**Рис. 4.** Ориентировка вкрапленников флогопита и апатита в минеттах подчеркивает флюидальную текстуру. Матрица – агрегат санидина, арфведсонита и кальцита. Изображение в проходящем свете, николи скрещены (а), изображение в отраженных электронах (б).

**Fig. 4.** Orientation of phlogopite and apatite phenocrysts in minettes emphasizes the flow texture. The matrix is composed of sanidine, arfvedsonite, and calcite. Transmitted light, crossed polars (a), BSE image (b).

## МИНЕРАЛОГИЯ МИНЕТТ ГОРНОГО КРЫМА

**Оливин.** Редкие небольшие до 0.2 мм вкрапленники оливина правильной стандартной формы полностью замещены флогопитом. Нередки сростания из двух-трех вкрапленников оливина.

**Авгит** слагает редкие вкрапленники размером до  $0.6 \times 0.4$  мм, большей частью замещенные флогопитом, и единичные мелкие призмы в матрице пород.

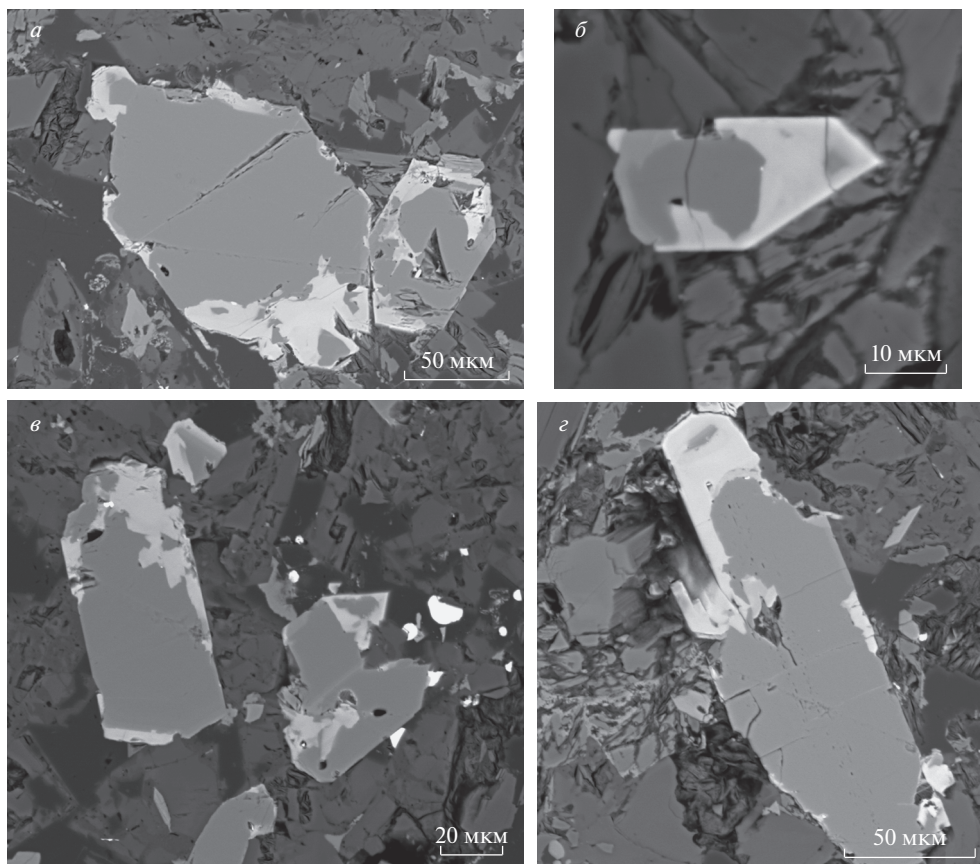
**Флогопит.** Вкрапленники флогопита и апатита образуют флюидальную текстуру, как параллельную контактам даек (рис. 2, 4), так и вихревую. Размер наиболее крупных вкрапленников флогопита достигает  $1.5 \times 0.2$  мм. В ядрах некоторых крупных вкрапленников установлен безфтористый флогопит с 2.1 мас. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и 6.8%  $\text{TiO}_2$ , с железистостью  $\text{Fe}\# = \text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})$  17.7 (табл. 1, ан.1); вероятно, он является продуктом мантийной кристаллизации. Подавляющее большинство крупных вкрапленников, а также более мелкие вкрапленники слагают фтор-гидроксилфлогопит, железистость которого от центра к краям кристаллов увеличивается от 7.8 до 23.4; содержание титана при этом возрастает от 1.4% до 3.1 мас. %, содержание фтора плавно увеличивается от 1.8 до 2.4 мас. %, содержание хрома снижается от 0.5–0.7% до следов (табл. 1, ан. 2–8). Ширина внешней зоны более железистого флогопита с  $\text{Fe}\#$  20–23, содержащего 2–3 мас. % титана, не превышает 15 мкм, окраска такого флогопита по *N*<sub>g</sub> светлокоричневая с красноватым оттенком. Многие кристаллы флогопита окружает тонкая (<3 мкм) кайма красного цвета; корректно определить ее состав не удалось; возможно, это – тетраферрифлогопит.

**Апатит.** Крымские минетты крайне богаты апатитом, среднее его содержание ~5 объемных %. Ориентировка вкрапленников апатита и флогопита подчеркивает текстуры течения (рис. 4, б). Размер призматических кристаллов-вкрапленников апатита до  $0.2 \times 0.05$  мм. Большую часть вкрапленников слагает фторапатит-I (рис. 5), который содержит 1.9–2.4, изредка до 6.6 мас. % SrO (табл. 1, ан. 9-11). Фторапатит-I содержит от 0.4 до 1.2 мас. % лантанидов ( $\text{Ce} \gg \text{Nd} \sim \text{La}$ ), до 0.4 мас. % Ba, следы хлора; в его составе небольшая часть анионов  $[\text{PO}_4]$  замещена на  $[\text{SiO}_4]$  и  $[\text{SO}_4]$ .

Фторапатит-II развит во внешних зонах кристаллов-вкрапленников, активно замещающая фторапатит-I (рис. 5), и слагает обособленные призматические кристаллы в цементующей массе минетт, обычно в гнездах позднемагматического кальцита. Фто-

**Таблица 1.** Химический состав (мас. %) флогопита минетт Горного Крыма  
**Table 1.** Chemical compositions (wt %) phlogopite in minette from Mountain Crimea

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	39.32	41.68	41.26	42.12	41.27	40.49	40.95	40.57
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.14	0.50	0.68	0.56	нпо	нпо	нпо	нпо
TiO <sub>2</sub>	6.77	1.38	1.41	1.23	1.68	2.16	2.83	3.13
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.13	нпо	нпо	нпо	0.07	нпо	нпо	нпо
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.41	13.16	13.01	12.52	12.47	11.81	12.00	11.56
FeO	7.17	3.89	4.01	4.04	6.13	9.43	10.84	10.56
MnO	нпо	нпо	нпо	нпо	0.08	0.11	0.15	0.13
MgO	18.72	25.64	25.17	24.89	23.80	20.92	20.13	19.70
CaO	0.09	нпо	нпо	нпо	0.07	0.11	0.19	0.12
Na <sub>2</sub> O	0.73	0.27	0.41	0.08	0.19	0.28	0.57	0.61
K <sub>2</sub> O	8.82	10.67	10.35	10.76	10.52	9.96	10.06	9.66
BaO	1.13	0.34	0.42	0.33	0.73	0.64	1.13	0.83
F	нпо	1.77	1.83	1.86	1.89	2.37	2.41	2.40
Cl	0.23	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо
Сумма – O = F <sub>2</sub> + Cl <sub>2</sub>	98.61	98.65	97.68	97.61	98.10	97.79	99.22	98.26
Число атомов в формуле								
Si	2.868	2.915	2.916	2.986	2.950	2.977	2.973	2.994
Al <sup>IV</sup>	1.132	1.085	1.084	1.014	1.050	1.023	1.027	1.006
Сумма				4				
Mg	2.036	2.672	2.651	2.631	2.535	2.294	2.179	2.167
Fe <sup>2+</sup>	0.438	0.227	0.237	0.239	0.366	0.580	0.658	0.651
Mn	–	–	0.057	–	0.005	0.007	0.009	0.008
Al <sup>VI</sup>	0.021	–	–	0.032	–	–	–	–
Ti	0.372	0.073	0.075	0.066	0.090	0.119	0.154	0.174
Cr	0.124	0.028	0.038	0.032	–	–	–	–
V	0.007	–	–	–	0.004	–	–	–
Сумма				3				
K	0.821	0.952	0.933	0.973	0.959	0.935	0.978	0.882
Ba	0.032	0.009	0.011	0.009	0.021	0.019	0.032	0.024
Na	0.103	0.037	0.056	0.011	0.026	0.040	0.080	0.087
Ca	0.007	–	–	–	0.005	0.009	0.015	0.009
Сумма	0.963	0.998	1.000	0.993	1.011	1.003	1.005	1.002
ОН	1.194	1.512	1.474	1.408	1.476	1.303	1.308	1.239
F (Cl)	(0.029)	0.392	0.409	0.417	0.427	0.551	0.554	0.561
O	0.777	0.096	0.117	0.175	0.097	0.146	0.138	0.170
Сумма				2				
Fe#	17.7	7.8	8.2	8.3	12.8	20.4	23.4	23.3



**Рис. 5.** Вкрапленники в минеттах – зональные кристаллы апатита.

*a* – центр кристалла (серый, ан. 9), кайма замещения (светлая, ан. 13); *б* – ядро кристалла (темно-серое, ан. 10), оторочка ядра (серая, ан. 11), светлая зона (ан. 15); *в* – кайма замещения левого кристалла (ан. 14). Яркие выделения – циркон, монацит и ксенотим; *z* – зональная кайма замещения – оторочка вокруг темно-серого ядра (светло-серая, ан. 12), широкая светлая зона (ан. 16). Изображения в отраженных электронах.

**Fig. 5.** Phenocrysts of zonal apatite crystals in minettes. BSE images.

рапатит-II весьма богат стронцием, содержит 16–21.6 мас. % SrO (табл. 2, ан. 12–16). Фторапатит-II содержит от 1.1 до 1.9 мас. % лантанидов ( $Ce > La \gg Nd$ ), 0.6–1.1 мас. % BaO; в его составе небольшая часть анионов  $[PO_4]$  замещена на  $[SiO_4]$  и  $[SO_4]$ .

**Санидин.** Большую часть матрицы минетт образуют призматические кристаллы санидина, длиной до 0.2 мм, толщиной обычно до 0.05 мм (рис. 6). Угол оптических осей минерала – до  $8^\circ$ . Кристаллы санидина имеют сложное зональное строение (рис. 6). По составу это – Fe-содержащий санидин с 3.1–4.6 мас. %  $Fe_2O_3$  и 0.8–2.4 мас. % BaO (табл. 3, ан. 17–19). В составе санидина проявлен отчетливый изоморфизм Al– $Fe^{3+}$ . Более железистый санидин богаче калием и натрием, беднее – барием и кальцием. Состав минерала варьирует от  $K_{89.3}Na_{5.3}Ba_{4.4}Ca_{1.0}$  до  $K_{91.8}Na_{6.3}Ba_{1.5}Ca_{0.4}$ .

**Арфведсонит.** В цементирующей массе крымских минетт много мелких призматических кристаллов арфведсонита, как одиночных, так и образующих небольшие пучки (рис. 6, 7). Относительно больше арфведсонита в гнездах позднемагматического

**Таблица 2.** Химический состав (мас. %) апатита минетт Горного Крыма  
**Table 2.** Chemical compositions (wt %) of apatite in minette from Mountain Crimea

Компоненты	9	10	11	12	13	14	15	16
CaO	53.32	53.17	48.05	39.01	39.13	39.11	36.48	35.75
SrO	1.91	2.36	6.60	15.97	17.23	18.92	20.42	21.63
BaO	нпо	0.19	0.36	1.03	0.62	0.86	1.01	1.12
Na <sub>2</sub> O	нпо	нпо	нпо	нпо	0.08	нпо	0.22	нпо
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	нпо	0.17	0.24	0.66	0.44	0.51	0.52	0.56
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.37	0.26	0.59	0.88	0.66	0.67	0.81	0.90
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	нпо	нпо	0.32	0.32	нпо	0.27	нпо	нпо
FeO	0.19	0.32	0.30	0.37	0.28	нпо	0.27	нпо
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	40.70	40.51	37.78	35.54	36.41	37.30	36.52	36.19
SiO <sub>2</sub>	0.57	0.66	1.28	1.21	0.83	0.52	0.43	0.47
SO <sub>3</sub>	0.15	0.44	0.34	0.23	0.17	0.16	0.12	нпо
F	2.47	3.44	3.55	3.01	2.55	3.31	3.23	2.92
Cl	0.07	0.03	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо
Сумма – O = F <sub>2</sub> + Cl <sub>2</sub>	98.69	100.08	97.81	96.96	97.33	100.24	98.67	98.31
Число атомов в формуле								
Ca	4.877	4.843	4.609	3.987	3.959	3.901	3.727	3.697
Sr	0.100	0.116	0.343	0.883	0.944	1.021	1.130	1.210
Ba	–	0.006	0.012	0.038	0.023	0.031	0.038	0.042
Na	–	–	–	–	0.015	–	0.041	–
La	–	0.005	0.008	0.022	0.015	0.017	0.017	0.019
Ce	0.011	0.008	0.018	0.029	0.022	0.022	0.027	0.030
Nd	–	–	0.004	0.010	–	0.008	–	–
Fe	0.013	0.023	0.023	0.029	0.022	–	0.022	–
Сумма	5.001	5.001	4.999	4.998	4.999	5.000	5.002	4.998
P	2.940	2.915	2.863	2.869	2.911	2.940	2.949	2.957
Si	0.049	0.056	0.115	0.116	0.078	0.049	0.040	0.045
S	0.010	0.028	0.023	0.017	0.012	0.011	0.009	–
Сумма	2.999	2.999	3.001	3.002	3.001	3.000	2.998	3.002
F	0.667	0.925	1.000	0.908	0.761	0.974	0.973	0.891
Cl	0.010	0.004	–	–	–	–	–	–
ОН	0.323	0.071	–	0.092	0.239	0.026	0.027	0.109
Сумма					1			

Примечание. Нпо – ниже предела обнаружения. Mn, Mg, Sm – Lu, U – не обнаружены.

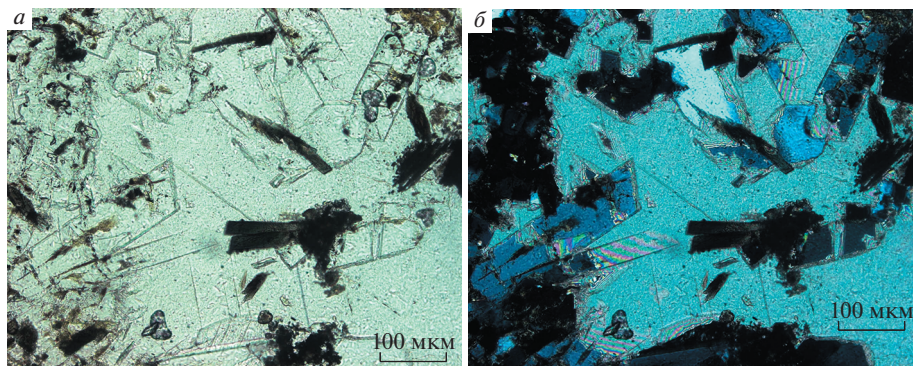
кальцита (рис. 7). В проходящем свете цвет арфведсонита варьирует от густого коричневатого-зеленого (*Np*) до грязного коричневатого-зеленоватого (*Ng*) и желтовато-зеленого (*Nm*),  $Np > Ng > Nm$ ; удлинение отрицательное; угол погасания  $Np : z = 7^\circ - 13^\circ$ . Кристаллы арфведсонита по составу не зональные. Состав минерала достаточно устойчив (табл. 4, ан. 20–27). Состав щелочного амфибола крымских минетт довольно своеобразен – это низкофтористый безглиноземистый арфведсонит, обогащенный титаном (4.2–5.2 мас. %  $TiO_2$ ), магнием и калием. Железистость крымского арфведсонита низкая (54.1–56.2), минерал по составу близок к магниоарфведсониту. Содержа-





**Рис. 6.** Матрица минетт: призматические кристаллы санидина (светлые зоны кристаллов обогащены барием – ан. 17). В промежутках между кристаллами санидина призмы арфведсонита (светлые) и ксеноморфный кальцит (черный). Изображение в отраженных электронах.

**Fig. 6.** Minette matrix represented by prismatic crystals of sanidine (the light zones of crystals are enriched with barium, an. 17) with arfvedsonite prisms (light) and xenomorphic calcite (black) in the interstitial space. BSE image.



**Рис. 7.** Матрица минетт: гнездо кальцита с включениями апатита и арфведсонита (ан. 21, 22, 23). Изображения в проходящем свете без анализатора (а), в скрещенных николях (б).

**Fig. 7.** Minette matrix represented by the nest of calcite with inclusions of fluorapatite and arfvedsonite (an. 21, 22, 23). Transmitted light, one polar (a), crossed polars (b).

ние марганца невысокое (0.5–0.7 мас. %). В отдельных кристаллах арфведсонита установлено наличие циркония, до 0.3%. Формула арфведсонита –  $(\text{Na}_{2.00-2.08}\text{K}_{0.77-0.87}\text{Ca}_{0.11-0.17})_{2.99-3.01}(\text{Fe}_{2.08-2.21}\text{Mg}_{1.75-1.86}\text{Mn}_{0.07-0.09})_4(\text{Ti}_{0.48-0.60}\text{Fe}_{0.40-0.50}^{3+}\text{V}_{0-0.02}\text{Zr}_{0-0.02})_1[(\text{Si}_{7.73-7.94}\text{Fe}_{0.27-0.06}^{3+})_8\text{O}_{22}](\text{OH}_{1.00-1.50}\text{O}_{0.44-0.63}\text{F}_{0-0.50})_2$ .

В первом приближении состав арфведсонита крымских минетт отвечает  $\text{KNa}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_4(\text{Fe}^{3+}, \text{Ti})[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH}_{1-1.5}\text{O}_{0.5}\text{F}_{0-0.5})_2$  или  $\text{KNa}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_4(\text{Ti}, \text{Fe}^{3+})[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH}_{1-1.5}\text{O}_{0.5}\text{F}_{0-0.5})_2$ ; первый вариант состава достаточно близок к принятому

**Таблица 3.** Химический состав (мас. %) железистого санидина минетт Горного Крыма  
**Table 3.** Chemical compositions (wt %) of Fe-bearing sanidine in minette from Mountain Crimea

Компоненты	17	18	19
SiO <sub>2</sub>	62.77	63.30	63.64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.08	16.92	15.57
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.12	3.20	4.57
CaO	0.21	0.14	0.09
Na <sub>2</sub> O	0.59	0.63	0.71
K <sub>2</sub> O	14.87	15.10	15.34
BaO	2.43	1.97	0.81
Сумма	101.07	101.27	100.73
Число атомов в формуле			
K	0.890	0.900	5.7
Ba	0.045	0.036	69.6
Na	0.054	0.057	1.4
Ca	0.010	0.007	0.4
Сумма	0.999	1.000	77.1
Si	2.946	2.957	2.980
Al	0.945	0.931	0.859
Fe <sup>3+</sup>	0.110	0.112	0.161
Сумма	4.001	4.000	4.000
O	8		
Al/Fe <sup>3+</sup>	8.6	8.3	5.3
K/Ba	20	25	61

для арфведсонита (Leake, 2003); второй вариант состава, возможно, отвечает “титанистому арфведсониту”.

**Кальцит** – характерный минерал щелочных магматических пород. В крымских минеттах ксеноморфный кальцит заполнил промежутки между кристаллами санидина и арфведсонита и образует небольшие, до 3 мм, овальной формы скопления с включениями фторапатита и арфведсонита (рис. 7). Кальцит содержит до 1.1 мас. % SrO, до 0.2 мас. % BaO и FeO.

**Кварц.** В отдельных участках в цементирующей массе минетт промежутки между кристаллами санидина и арфведсонита заполнены не кальцитом, а ксеноморфным кварцем. В этих же участках находятся циркон, титанит и метакристаллы пирита с включениями барита.

**Циркон.** Состав циркона из цементирующей массы минетт, ан. 28 (мас. %): ZrO<sub>2</sub> 52.50, HfO<sub>2</sub> 2.77, ThO<sub>2</sub> 1.22, TiO<sub>2</sub> 0.72, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1.32, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2.66, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.38, Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.82, Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.363, Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.749, Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.50, Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.39, SiO<sub>2</sub> 30.95, P, U не обнаружены, сумма 97.35%; формула минерала (Zr<sub>0.826</sub>Y<sub>0.046</sub>Hf<sub>0.026</sub>Ce<sub>0.021</sub>Nb<sub>0.019</sub>Nd<sub>0.018</sub>Ti<sub>0.017</sub>Th<sub>0.009</sub>Sm<sub>0.005</sub>Gd<sub>0.005</sub>Dy<sub>0.004</sub>La<sub>0.004</sub>)<sub>1.001</sub>[Si<sub>0.999</sub>O<sub>3.902</sub>OH<sub>0.098</sub>]. Отношение ZrO<sub>2</sub>/HfO<sub>2</sub> равно 19. Циркон – единственный минерал минетт, который содержит существенное количество (5.2 мас. %) лантанидов, а также – иттрия. Их распределение в порядке уменьшения содержаний следующее: Y ≥ Ce > Nd ≥ Gd, Sm > Dy, La.

**Титанит.** Состав титанита из цементирующей массы минетт, ан. 29 (мас. %) следующий: CaO 26.60, SrO 1.85, Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.57, Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.33, TiO<sub>2</sub> 34.77, ZrO<sub>2</sub> 0.82, V<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.43, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



**Таблица 4.** Химический состав (мас. %) арфведсонита минетт Горного Крыма  
**Table 4.** Chemical compositions (wt %) of arfvedsonite in minette from Mountain Crimea

Компоненты	20	21	22	23	24	25	26	27
SiO <sub>2</sub>	51.99	52.05	52.17	51.56	50.80	50.46	51.63	50.56
TiO <sub>2</sub>	4.45	4.45	5.21	4.25	4.88	4.65	4.23	4.62
ZrO <sub>2</sub>	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	0.28	0.26	нпо
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	нпо	0.12	нпо	0.14	0.12	0.17	0.17	0.13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.74	5.06	4.18	6.30	6.05	6.07	5.37	5.59
FeO	16.20	16.61	17.13	16.49	16.67	16.48	16.88	17.25
MnO	0.58	0.57	0.62	0.64	0.57	0.51	0.57	0.65
MgO	8.15	8.04	7.71	8.16	8.10	7.86	7.71	7.70
CaO	0.76	0.82	0.78	1.07	0.93	0.68	0.85	1.01
Na <sub>2</sub> O	6.75	7.02	7.06	7.04	7.03	6.78	7.02	6.82
K <sub>2</sub> O	4.46	4.11	4.02	4.01	4.04	4.46	4.01	4.13
F	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	1.04	0.89	нпо
Сумма – O = F <sub>2</sub>	98.08	98.85	98.86	99.66	99.19	99.00	98.37	98.36
Число атомов в формуле								
Si	7.942	7.899	7.925	7.783	7.734	7.741	7.876	7.806
Fe <sup>3+</sup>	0.058	0.101	0.075	0.217	0.266	0.259	0.124	0.194
Сумма	8							
Ti	0.511	0.507	0.596	0.483	0.557	0.536	0.487	0.532
Zr	–	–	–	–	0.009	0.021	0.019	–
Fe <sup>3+</sup>	0.489	0.477	0.404	0.500	0.428	0.443	0.493	0.452
V	–	0.016	–	0.017	0.015	0.021	0.021	0.016
Сумма	1							
Fe <sup>2+</sup>	2.168	2.108	2.176	2.082	2.124	2.114	2.154	2.211
Mn	0.075	0.073	0.079	0.082	0.073	0.066	0.073	0.085
Mg	1.857	1.817	1.746	1.836	1.831	1.797	1.753	1.759
Сумма	4							
Ca	0.125	0.133	0.127	0.173	0.151	0.112	0.139	0.166
Na	1.999	2.065	2.079	2.061	2.067	2.017	2.076	2.027
K	0.869	0.796	0.779	0.772	0.782	0.873	0.780	0.808
Сумма	2.993	2.994	2.985	3.006	3.000	3.002	2.995	3.001
F	–	–	–	–	–	0.504	0.429	–
ОН	1.429	1.466	1.367	1.555	1.558	1.021	0.999	1.495
O	0.571	0.534	0.633	0.445	0.442	0.475	0.572	0.505
Сумма	2							

Примечание. Al, Ba, Cl не обнаружены; количества Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и FeO рассчитаны по балансу зарядов

0.56, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3.50, SiO<sub>2</sub> 29.95, F не обнаружен, сумма 99.36%; формула минерала (Ca<sub>0.950</sub>Sr<sub>0.036</sub>Ce<sub>0.007</sub>Nd<sub>0.004</sub>)<sub>0.997</sub>(Ti<sub>0.871</sub>Fe<sup>3+</sup><sub>0.088</sub>Al<sub>0.022</sub>Zr<sub>0.013</sub>V<sub>0.011</sub>)<sub>1.005</sub>[O/(SiO<sub>4</sub>)<sub>0.998</sub>]. Как видно из приведенных данных, особенности состава титанита сходны с особенностями состава иных минералов крымских минетт: минерал обогащен стронцием и желе-

зом, относительно беден лантанидами и алюминием. Отметим заметное содержание циркония, что характерно для титанита щелочных магматитов.

**Пирит.** Единичные метакристаллы беспримесного пирита размером до 0.3 мм установлены в минеттах наиболее крупной дайки. Содержит мелкие неправильной формы включения барита.

**Барит.** Размер выделений барита <50 микрон. Состав минерала отвечает формуле  $\text{Ba}_{0.97}\text{Sr}_{0.02}\text{Ca}_{0.01}[\text{SO}_4]$ .

## СРАВНЕНИЕ МИНЕТТ ГОРНОГО КРЫМА И ИНЫХ РЕГИОНОВ

Описанные крымские минетты чрезвычайно похожи на флогопитовые минетты Маймеча-Котуйской провинции щелочных–ультраосновных пород и карбонатитов на северо-востоке Восточно-Сибирской платформы (Бутакова, Егоров, 1962; Жабин, Сурина, 1970; Arndt et al., 1998). Единичные дайки таких минетт с обильными вкрапленниками флогопита пересекали магматические сульфидные руды и породы рудоносного интрузива в руднике Заполярном Норильского рудного поля. По химическому составу пород и особенностям распределения лантанидов крымские минетты близки к минеттам лампроитовой серии (Rock et al., 1991).

Ранний хромисто-титанистый флогопит крымских минетт близок к мантийному титанистому флогопиту (Рябчиков, 1981; Arima, Edgar, 1981; Spear, 1984). Преобладающий в крымских минеттах относительно высоко глиноземистый фторгидроксилфлогопит по составу близок к флогопиту минетт лампроитовой серии (Rock et al., 1991). Как характерно для минетт в целом, состав флогопита крымских минетт перекрывается с лампроитовым, тренд зональности – волжидитовый (Mitchell, Bergman, 1991). Основное количество флогопита кристаллизовалось совместно с апатитом, что является очевидной причиной бедности флогопита крымских пород фтором (Zhu, Sverjinsky, 1992).

Характернейший минерал крымских минетт – обогащенный стронцием фторапатит. Этот минерал типичен для высокощелочных магматических пород и пегматитов (Бонштедт и др., 1937; Phosphates, 2013). Невысокий уровень содержания лантанидов во фторапатите крымских минетт, как и во фторапатите хибинских апатит-нефелиновых магматических пород, вероятно, обусловлен огромным количеством апатита (Бонштедт и др., 1937; Дудкин и др., 1964).

Арфведсонит щелочных гранитов и сиенитов беден магнием и титаном. Титанистый магнезиоарфведсонит, по составу близкий к крымскому, описан в шонкинитах (Freidenberg, 1910). Наиболее близкий к крымскому титанистый арфведсонит описан в контаминированных (гибридизированных) щелочных гранитах Кольского полуострова близ контакта с древними габбро-анортозитами, богатыми титаномагнетитом (Воробьева, 1932).

Считается, что титанит может быть важным минералом – носителем циркония в лампрофирах (Seifert, Kramer, 2003), а позднемагматический циркон способен содержать заметное количество (ОН)-групп (Zircon, 2004). Наши данные этому не противоречат.

## ИТОГИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Впервые в киммеридах Горного Крыма изучены проявления мантийного щелочного магматизма. Это – эпикиммерийские послеюрские дайки арфведсонит-флогопитовых минетт малого масштаба в зоне регионального Бодракского разлома. Подавляющую часть вкрапленников слагает фтор-гидроксилфлогопит, железистость которого от центра к краям кристаллов увеличивается от 7.8 до 22.6, содержание титана при этом возрастает от 1.4 мас. % до 3.1%, фтора – от 1.4 до 2.4%, содержание хрома снижа-

ется от 0.5–0.7% до следов. Флогопит крымских минетт по составу отвечает флогопиту минетт лампроитовой серии, тренд зональности – волжидитовый. Минетты крайне богаты фосфором, в среднем содержат 2.6 мас. %  $P_2O_5$ . Ориентировка вкрапленников апатита и флогопита подчеркивает текстуры течения, как параллельные контактам даек, так и вихревые. Фторапатит-I содержит 1.9–6.6 мас. % SrO, обрастающий и замещающий его фторапатит-II – 16–21.6 мас. % SrO. Цементирующую массу минетт слагают призмы Ва- и Fe-содержащего санидина и арфведсонита, ксеноморфный Sr-содержащий кальцит. Низкофтористый безглиноземистый арфведсонит богат титаном (4.2–5.2 мас. %  $TiO_2$ ) и калием, близок к магнезиоарфведсониту. Циркон минетт содержит (мас. %):  $HfO_2$  2.8,  $REE_2O_3$  5.2,  $Y_2O_3$  2.7,  $Nb_2O_5$  1.3,  $ThO_2$  1.2;  $ZrO_2/HfO_2 = 19$ ; редкоземельные элементы и итрий по содержаниям образуют следующий ряд  $Ce > Nd \gg Gd, Sm > Dy, La$ .

Автор благодарен Н.Н. Коротаевой за высокое качество фотографий и химических анализов, полученных с помощью электронного микронзонда. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 19-05-00490) с использованием оборудования, приобретенного за счет средств Программы развития Московского университета.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барыкина О.С., Большаков Д.К.* Строение Бодракского разлома в Горном Крыму по данным электроразведки // Вестн. МГУ. Геология. **1997**. № 5. С. 67–70.
- Бискэ Г.С.* Надвиговая позднемезозойская тектоника юго-западной оконечности Горного Крыма // Вестн. СПбГУ. Геология и география. **2007**. Вып. 2. С. 12–20.
- Бонштедт Э.М., Борнеман-Старынкевич И.Д., Владевец В.И., Воробьёва О.А., Герасимовский В.И., Гуткова Н.Н., Каган Б.И., Костылева Е.Е., Куплетский Б.М., Лабунцов А.Н., Ферман А.Е., Чирвинский П.Н.* Минералы Хибинских и Ловозёрских тундр. М.-Л.: изд. АН СССР. **1937**. 563 с.
- Бутакова Е.Л., Егоров Л.С.* Маймеч-Котуйский комплекс формаций ультраосновных и щелочных пород / Петрография Восточной Сибири. Т. 1. Изд. АН СССР, **1962**. С. 417–590.
- Воробьёва О.А.* Западная зона контакта щелочногранитной интрузии центрального водораздела Кольского полуострова // Тр. Петрограф. ин-та АН СССР. **1932**. Вып. 2. С. 17–33.
- Дудкин О.Б., Козырева Л.В., Померанцева Н.Г.* Минералогия апатитовых месторождений Хибинских тундр. М.-Л.: Наука, **1964**. 235 с.
- Жабин А.Г., Сурина Н.П.* Петрология даек, силлов и трубок взрыва Маймеч-Котуйской провинции. М.: Наука, **1970**. 294 с.
- Заварицкий А.Н.* Изверженные горные породы. М.: Изд. АН СССР, **1955**. 480 с.
- Короновский Н.В., Милеев В.С.* О соотношении отложений таврической и эскиордынской серий в долине реки Бодрак (Горный Крым) // Вестн. МГУ. Геология. **1974**. № 1. С. 80–87.
- Лебединский В.И., Добровольская Т.И.* Новые данные о нижнемеловом вулканизме в Горном Крыму // Докл. АН СССР. **1961**. Т. 136. № 4. С. 896–899.
- Милеев В.С., Барабошкин Е.Ю., Розанов С.Б., Рогов М.А.* Киммерийская и альпийская тектоника Горного Крыма // Бюлл. МОИП. Отд. геол. **2006**. Т. 81. Вып. 3. С. 22–33.
- Морозова Е.Б., Сергеев С.А., Савельев А.Д.* Меловые и юрские интрузии Горного Крыма: первые данные U–Pb (SIMS SHRIMP)-датирования // Докл. РАН. **2017**. Т. 474. № 1. С. 66–72.
- Морозова Е.Б., Сергеев С.А., Суфиев А.А.* U–Pb цирконовый (SRIMP) возраст Джидайской интрузии как реперного объекта для геологии Крыма // Вестн. СПбГУ. Геология и география. **2012**. Вып. 4. С. 25–33.
- Муратов М.В.* Геология Крымского полуострова. М.: Недра, **1973**. 192 с.
- Никитин М.Ю., Болотов С.Н.* Геологическое строение Крымского учебного полигона МГУ. М.: МГУ. Ч. 1. **2006**. 135 с. Ч. 2. **2007**. 110 с.
- Рид С.Дж.Б.* Электронно-зондовый микроанализ и растровая электронная микроскопия в геологии. М.: Техносфера, **2008**. 232 с.
- Рябчиков И.Д.* Мантингизе титансодержащие слюды: состав, структура, условия образования, возможная роль в генезисе калиевых щелочных магм // Геохимия. **1981**. № 6. С. 873–888.
- Спиридонов Э.М.* Метаморфические и метасоматические образования Горного Крыма. В кн.: Геология Качинского поднятия Горного Крыма. Т. II. М.: МГУ, **1989**. С. 136–152.
- Спиридонов Э.М.* Неоальпийская активизация в киммеридах Горного Крыма: минидайки флогопитовых минетт и эгириновых Mn–Fe карбонатов, телетермальная Sb–Hg и Au–Hg минерализация / Основные проблемы в учении об эндогенных рудных месторождениях: Новые горизонты. М.: ИГЕМ РАН, **2017**. С. 53–56.

Спиридонов Э.М., Путинцева Е.В. Фаялитовые плагиограниты интрузива горы Кафель, мезозойды Горного Крыма / Ломоносовские чтения – 2019. Москва, 15–25 апреля 2019. М.: МГУ, 2019.

Спиридонов Э.М., Путинцева Е.В., Докучаев А.Я. Новые данные по геологии Карадагского вулканического массива, Горный Крым / Ломоносовские чтения – 2017. Москва, 17–26 апреля 2017. М.: МГУ, 2017.

Спиридонов Э.М., Путинцева Е.В., Лавров О.Б., Филимонов С.В., Овсянников Г.Н. Петля регионального метаморфизма Л.Л. Перчука: низкоградные варианты // Тр. III конф., посвященной 85-летию профессора Л.Л. Перчука “В кильватере большого корабля: современные проблемы магматизма, метаморфизма и геодинамики”. Черноголовка, 23–24 ноября, 2018. М.: ИЭМ РАН, 2018. С. 71–72.

Спиридонов Э.М., Семиколенных Е.С., Лысенко В.И., Филимонов С.В., Коротаева Н.Н. Армолколлит-содержащие островодужные плагиоферролиты и оливиновые габбро-норит-долериты Балаклавы, Горный Крым // Вестник МГУ. Сер. геол. 2019. № 3. С. 51–60.

Спиридонов Э.М., Фёдоров Т.О., Ряховский В.М. Магматические образования Горного Крыма // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1990. Т. 65. Вып. 4. С. 119–134. Вып. 6. С. 102–112.

Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов. М.: Научный Мир, 2001. 606 с.

## Arfvedsonite-Phlogopite Minettes with High Strontian Apatite Within the Mountain Crimea

E. M. Spiridonov\*

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

\*e-mail: ernstspiridon@gmail.com

Small-scale Epicimmerian post-Jurassic dikes of arfvedsonite-phlogopite minettes crosscut Early Bajocian gabbroids and quartz diorites of Kushnaryov and Petropavlovsk intrusives and the products of their low-grade metamorphism of the late Jurassic age, namely, prehnite, pumpellyite, and lomontite aggregates (Bodrak fault zone within the Lozovskaya zone of Mountain Crimean cimmerides). Fluorine-free phlogopite with minor  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (2.1 wt %) and  $\text{TiO}_2$  (6.8 wt %), which is a probable mantle crystallization product, composes cores of large phenocrysts in minettes. An outer zone of phenocrysts is composed of fluoro-hydroxyl phlogopite with 1.8–2.7 wt % of F, for which  $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})$  increases from 7.8 to 22.6 from cores to rims, whereas titanium content increases from 1.4 to 3.1 wt %, chromium content decreases from 0.5–0.7 wt % to traces. Single olivine and augite phenocrysts are replaced by phlogopite. Minettes are extremely rich in phosphorus and contain 2.6 wt % of  $\text{P}_2\text{O}_5$  in average. Orientation of phlogopite and apatite phenocrysts emphasizes the flow textures which is parallel to dike contacts or has wavy boundaries. Fluorapatite-I contains 1.9–6.6 wt % of SrO. Fluorapatite-II with 16–21.6 wt % of SrO replaces fluorapatite-I. Prisms of sanidine, arfvedsonite, and augite, xenomorphic calcite and quartz, rare pyrite with barite inclusions, small crystals of zircon, titanite, galena, monazite and xenotime compose the matrix of minettes. Low fluorous alumina-free arfvedsonite is enriched with Ti ( $\text{TiO}_2$  4.2–5.2 wt %), Mg and K. Zircon contains (wt %):  $\text{HfO}_2$  2.8,  $\text{REE}_2\text{O}_3$  5.2,  $\text{Y}_2\text{O}_3$  2.7,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  1.3,  $\text{ThO}_2$  1.2; its  $\text{ZrO}_2/\text{HfO}_2$  is equal 19; rare earth elements and yttrium form ordered sequence with their contents  $\text{Y} \gg \text{Ce} > \text{Nd} \gg \text{Gd} = \text{Sm} > \text{Dy}, \text{La}$ .

**Keywords:** Epicimmerian minette, phlogopite, high strontium fluorapatite, titanian potassic alumina-free arfvedsonite, Fe-bearing sanidine, Mountain Crimea

## REFERENCES

Arima M., Edgar A.D. Substitution mechanism and solubility of Ti in phlogopites from rocks of mantle origin. *Contrib. Miner. Petrol.* 1981. Vol. 77. P. 288–299.

Arndt N., Chauvel C., Czamanske G., Fedorenko V. Two mantle sources, two plumbing systems: tholeiitic and alkaline magmatism of the Maymecha River basin, Siberian flood volcanic province. *Contrib. Miner. Petrol.* 1998. Vol. 133. P. 297–313.

Barykina O.S., Bolshakov D.K. Structure of the Bodrak fault within Mountain Crimea using material of electrical prospecting. *Vestnik MSU. Geol.* 1997. N 5. P. 67–70 (in Russian).

Biske G.S. Trusting late mezozoic tectonic at south-west termination of the Mountain Crimea. *Vestnik SPbSU. Geol. Geograph.* 2007. N 2. P. 12–20 (in Russian).

Bonshtedt E.M., Borneman-Starynkevich I.D., Vlodayets V.I., Vorobyova O.A., Gerasimovsky V.I., Gutkova N.N., Kagan B.I., Kostyleva E.E., Kupletsky B.M., Labuntsov A.N., Fersman A.E., Chirvinsky P.N. Minerals of the Khibina and Lovozero tundra. Moscow, Leningrad: Acad. Sci. USSR, **1937**. 563 p. (in Russian).

Butakova E.L., Egorov L.S. Maymecha-Koty complex of the formations of ultrabasic and alkali rocks. In: *Petrography of the East Siberia*. Vol. 1. Akad. Sci. USSR, **1962**. P. 417–590 (in Russian).

Dudkin O.B., Kozyreva L.V., Pomerantseva N.G. Mineralogy of apatite deposits in Khibinsky Tundras. Moscow, Leningrad: Nauka, **1964**. 235 p. (in Russian).

Freudenberg W. Der anophorit, eine neue hornblende vom Katzenbuckel. *Neues Jahrb. Mineral.* **1910**. N 1. S. 34–36.

Koronovsky N.V., Mileev V.S. About relationship between Tavrichesky and Eskiordynsky formations in the valley of the Bodrak river (Mountain Crimea). *Vestnik MSU. Geol.* **1974**. N 1. P. 80–87 (in Russian).

Leake B.E. Nomenclature of amphiboles: additions and revisions to the International Mineralogical Association's 1997 recommendation. *Canad. Miner.* **2003**. Vol. 41. P. 1355–1362.

Lebedinsky V.I., Dobrovolskaya T.I. New data about early Cretaceous volcanism within Mountain Crimea. *Dokl. Acad. Sci. USSR.* **1961**. Vol. 136. N 4. P. 896–899 (in Russian).

Meijers M.J.M., Vrouwe B., van Hinsbergen D.J.J., Kuiper K.F., Wijbrans J., Davies G.R., Stephenson R.A., Kaymakci N., Matenco L., Saintot A. Jurassic arc volcanism on Crimea (Ukraine): implications for the paleo-subduction zone configuration of the Black Sea region. *Lithos.* **2010**. Vol. 119. P. 412–426.

Mileev V.S., Baraboshkin E.Yu., Rosanov S.B., Rogov M.A. Cimmerian and Alpine tectonic of the Mountain Crimea. *Bull. MOIP. Geol.* **2006**. Vol. 81. N 3. P. 22–33 (in Russian).

Mitchell R.H., Bergman S.C. *Petrology of lamproites*. New York: Plenum, **1991**. 447 p.

Morozova E.B., Sergeev S.A., Savaliev A.D. Cretaceous and Jurassic intrusions at Mountain Crimea: first data U–Pb (SIMS SHRIMP) dating. *Dokl. Earth Sci.* **2017**. Vol. 474. N 1. P. 66–72.

Morozova E.B., Sergeev S.A., Sufiev A.A. U–Pb zircon (SHRIMP) age of the Djidair intrusive as a reper subject for geology of Crimea. *Vestnik SPbSU. Geol. Geograph.* **2012**. N 4. P. 25–33 (in Russian).

Muratov M.V. *Geology of the Crimea peninsula*. Moscow: Nedra, **1973**. 192 p. (in Russian).

Nikitin M.Yu., Bolotov S.N. *Geology of the Crimea training polygon of Moscow State University*. Moscow: Moscow State University. Vol. 1. **2006**. 135 p. Vol. 2. **2007**. 110 p. (in Russian).

*Phosphates: geochemical, geobiological, and materials importans*. Eds. M.L. Koch, J. Rakovan, J.M. Hughes. *Miner. Soc. Amer.* **2003**. Vol. 48. 742 p.

Reed S.J.B. *Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology*. Cambridge University Press, **2005**.

Rock N.M.S., Bowes D.R., Wright A.E. *Lamprophyres*. New York: Van Norstrand Reinhold, **1991**. 275 p.

Ryabchikov I.D. Mantle Ti-bearing micas: composition, structure, conditions of crystallization, and their possible significance in genesis of potassium-alkaline magmas. *Geochemistry.* **1981**. N 6. P. 873–888 (in Russian).

Seifert W., Kramer W. Accessory titanite: an important carrier of zirconium in lamprophyres. *Lithos.* **2003**. Vol. 71. P. 81–98.

Spear J.A. Micas in igneous rocks. Micas. Ed. S.W. Bailey. *Rev. Mineral.* **1984**. Vol. 13. P. 299–356.

Spiridonov E.M. Metamorphic and metasomatic rocks of Mountain Crimea. In: *Geology of the Kacha rise in Mountain Crimea*. Vol. II. Moscow: Moscow State University, **1989**. P. 136–152 (in Russian).

Spiridonov E.M. Neopalpine activation in Cimmerides of Mountain Crimea: phlogopite minette and aegirine Mn–Fe carbonatite mini dykes, telethermal Sb–Hg and Au–Hg mineralization. In: *Basic problems of the theory on endogenic ore deposits: New horizons*. Moscow: IGEM RAS, **2017**. P. 53–56. ISBN 978-5-88918-049-4 (in Russian).

Spiridonov E.M., Fedorov T.O., Ryakhovskiy V.M. Magmatism of Mountain Crimea. *Bull. MOIP. Geol.* **1990**. Vol. 65. N 4. P. 119–134. N 6. P. 102–112 (in Russian).

Spiridonov E.M., Putintseva E.V. Fayalite plagiogranites of the Kastel intrusive, Mezozoides of Mountain Crimea. Lomonosov conference – 2019. Moscow, April 15–25, 2019. Moscow: Moscow State University, **2019** (in Russian).

Spiridonov E.M., Putintseva E.V., Dokuchaev A.Ya. New data on geology of the Karadag volcanic massive, Mountain Crimea. Lomonosov conference – 2017. Moscow, April 17–26, 2019. Moscow: Moscow State University, **2017** (in Russian).

Spiridonov E.M., Putintseva E.V., Lavrov O.B., Filimonov S.V., Ovsyannikov G.N. Loup regional metamorphism of L.L. Perchuk: low-grade cases. In: *“In the wake of the big ship: contemporary problems of magmatism, metamorphism, and geodynamic”*. Chernogolovka: IEM RAS, **2018**. P. 71–72 (in Russian).

---

*Spiridonov E.M., Semikolennykh E.S., Lysenko V.I., Filimonov S.V., Korotaeva N.N.* Armolcolite-containing arc plagiolehrzolites and olivine gabbro-norite-dolerites of Balaklava, Mountain Crimea. *Vestnik MSU. Geol.* **2019**. N 3. P. 51–60 (*in Russian*).

*Vorobyova O.A.* Western zone of the contact of the alkaline granitic intrusive of the Central Watershed in the Kola peninsula. *Proc. Petrograph. Inst. Acad. Sci. USSR.* **1932**. N 2. P. 17–33 (*in Russian*).

*Zhabin A.G., Surina N.P.* Petrology of dykes, sills, and diatremes of the Maimecha-Kotyi province. Moscow: Nauka, **1970**. 294 p. (*in Russian*).

*Zavaritsky A.N.* Igneous rocks. Moscow: Acad. Sci. USSR, **1955**. 480 p. (*in Russian*).

*Zhu C., Sverjensky D.A.* F–Cl–OH partitioning between biotite and apatite. *Geochim. Cosmochim. Acta.* **1992**. Vol. 56. P. 3435–3467.

*Zircon.* Eds. J.M. Hanchar, P.W.O. Hoskin. *Rev. Miner. Geochem.* **2004**. Vol. 53. 500 p.