

УДК 549.621.14:549.651.2:549.514.81(477.75)

Э.М. Спиридонов¹, Е.В. Путинцева²

ИНТРУЗИВ ПОСЛЕОСТРОВОДУЖНЫХ ФАЯЛИТОВЫХ ПЛАГИОГРАНИТОВ ГОРЫ КАСТЕЛЬ В КИММЕРИДАХ ГОРНОГО КРЫМА

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»,
119991, Москва ГСП-1, Воробьевы Горы, 1
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»,
199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, 7/9

Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, GSP-1, Vorobyovy Gory, 1
S-Petersburg State University, 199034, S-Petersburg, University embankment, 7/9

Гипабиссальный интрузив фаялитовых плагиогранитов г. Кастель внедрился в Южнобережное поднятие Горно-Крымской тектонической зоны киммерид Крыма. Плагиограниты пересекли и контактово метаморфизовали сложно дислоцированную толщу флиша таврической серии T_2-J_1 , тела островодужных габброидов раннебайосского первомайско-аюдагского комплекса и базальтов позднебайосского карадагского комплекса. Судя по рисунку трещин отдельности и характеру контактов, интрузив тектонизирован относительно слабо. Послеостроводужные плагиограниты г. Кастель (SiO_2 72,02 масс.%; Na_2O 4,57; K_2O 1,26; $Na_2O/K_2O = 3,6$; железистость 92,4%; $Th \gg U$) содержат высокожелезистые оливин-фаялит, эулит и аннит, обильные акцессорные — циркон, монацит, ксенотим. В ходе кристаллизационной дифференциации плагиогранитов г. Кастель произошло накопление Fe и Mn в составе оливина, Na и K — в составе плагиоклаза, Mn — в составе ильменита, Hf — в составе циркона, Th — в составе монацита, сузились составы твердых растворов циркона и ксенотима. Эндемичные фаялитовые плагиограниты могли возникнуть в условиях орогенного режима, который, по-видимому, следует выделить в истории мезозойд Горного Крыма.

Ключевые слова: послеостроводужный кастельский плагиогранитный комплекс, эндемичные плагиограниты с фаялитом, ильменит, фторапатит, циркон, монацит, ксенотим, Горный Крым.

The hypabissal intrusive of Mt. Kastel fayalite plagiogranites intruded in the center of the South Bank uplift within Crimean kimmerides. Plagiogranites crosscut and local metamorphose the complexly folded flysch mass of Tauride series T_2-J_1 , the bodies of island-arc gabbroids of Early Bayos Pervomaysk-Aju-Dag complex and basalts bodies of Late Bayos Karadag complex. Judging by the pattern of partings and the contact conditions, the intrusive is relatively weakly tectonized. Kastel postisland-arc plagiogranites (72,02 wt% of SiO_2 ; 4,57 wt% of Na_2O ; 1,26 wt% of K_2O ; $Na_2O/K_2O = 3,6$; 92,4% of ferruginosity; $Th \gg U$) contain high ferriferous olivine — fayalite, eulite and annite, rich in accessory zircon, monazite and xenotime. During the crystallization differentiation of plagiogranites of Mt. Kastel there was an accumulation of Fe and Mn in olivine composition, Na and K in plagioclase composition, Mn in ilmenite composition, Hf in zircon composition and Th in monazite composition, a narrowing of zircon and xenotime solid solutions composition. Endemic fayalite plagiogranites could arise under the conditions of orogenic regime, which, apparently, should be distinguished in the history of Mountain Crimean mesozooids.

Key words: postisland-arc Kastel plagiogranite complex, endemic plagiogranites with fayalite, ilmenite, fluorapatite, zircon, monazite, xenotime, Mountain Crimea.

Введение. В Горном Крыму многие десятилетия проводятся студенческие полевые геологические практики. Один из традиционных объектов этих практик — интрузивный массив горы Кастель, расположенной рядом с Алуштой. Горные породы г. Кастель изучают полтора века [Прендель, 1886; Лагорио, 1887; Лучицкий, 1939; Павлинов, 1946; Фирсов, 1963; Лебединский, Шалимов, 1967; Муратов, 1973; Спиридонов и др., 1990; Спиридонов, 2017; Шнюкова, 2019]. В этих работах горные породы г. Кастель описаны как биотитсодержащие плагиогранит-порфиры, или липаритовые

порфиры, или кварцевые порфиры, или плагиограниты. Наблюдения последних лет показали, что это плагиограниты порфировидные до резко порфировидных, но не биотитовые, а фаялитовые и феррогортонитовые, т.е. весьма своеобразные эндемичные горные породы [Спиридонов, Путинцева, 2019].

Фаялит и феррогортонит. Крайне железистый оливин фаялит ($Fe_{0-10}Fa_{100-90}$), а также феррогортонит ($Fe_{10-30}Fa_{90-70}$) [Deer et al., 1982] — редкие минералы магматических, высокотемпературных метасоматических и метаморфических горных

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра минералогии, профессор; e-mail: ernstspiridon@gmail.com

² Санкт-Петербургский государственный университет, Петрографический музей, куратор; e-mail: lputintseva@mail.ru

пород. Они образуются в восстановительной обстановке, так как очень богаты Fe^{2+} , нередко формируются при участии газовой фазы с водородом и углеводородами [Иванова и др., 2007].

Магматические горные породы. Фаялит — характерный минерал высокожелезистых внутриплитных гранитоидов и гранитных пегматитов повышенной калиевой щелочности (граниты рапакиви, гранитоиды анортозит-мангерит-чарнокит-гранитной серии, граниты анорогенных кольцевых комплексов) и сиенитов [Заварицкий, 1955; Howard et al., 1956; Маракушев и др., 1966; Stevenson, Hensel, 1978; Deer et al., 1982, Кривдик и др., 1988; Frost et al., 1988, 1999; Njonfang, Moreau, 2000; Mücke, 2003]. Столь же характерен фаялит для кремнекислых щелочных вулканитов, таких, как пантеллериты [Заварицкий, 1955; Deer et al., 1982; Civetta et al., 1998]. Фаялит развит также в литофизах кремнекислых вулканитов [Deer et al., 1982; Ike et al., 1984]. Иной генетический тип представляют феррогортонолит и фаялит феррогаббро и ферродиоритов — высокожелезистых дифференциатов «сухих» расслоенных платформенных интрузивов типа Бушвельда, Скэргарда, Аламджаха [Масайтис, 1958; Wager, Brown, 1967]. Единственная находка фаялита в субдукционных гранитоидах — гранодиоритах Чили [Vásques et al., 2008] не вызывает доверия, так как железистость этих гранодиоритов низкая (74%), что не характерно для фаялитсодержащих магматических пород.

Метасоматические образования. Фаялит развит в высокотемпературных оловоносных метасоматитах, связанных с орогенными интрузивами высокожелезистых калиевых гранитов [Грачева, 1966]. Фаялит и феррогортонолит распространены в продуктах реакции норильских сульфидных Fe-Cu-Ni-расплавов с силикатными породами при участии восстановленных флюидов, при этом возник и когенит Fe_3C [Золотухин, 1971; Спиридонов, 2010]; в реакционных зонах между габброидами и Fe-Ni-C-расплавом — продуктом природного металлургического процесса во внутренней части Хунгтукунского траппового интрузива Восточно-Сибирской платформы с включениями блоков углистых пород [Рябов и др., 1985; Спиридонов, 2012].

Метаморфические горные породы. Фаялит и феррогортонолит — характерные минералы продуктов метаморфизма кремнистых сидеритов, железистых яшм, пирит-кремнистых пород. Таковы роговики пироксеновой фации с феррогортонолитом из ксенолитов в габброидах интрузива Аю-Даг в Горном Крыму [Ерёменко, Ерёменко, 1972; Ананьев, Ревердатто, 1997]; таковы эвлизиты — фаялит-ферросилитовые породы, продукты регионального метаморфизма гранулитовой фации [Tilley, 1936]; таковы фаялит и феррогортонолит — продукты угольных пожаров в Кузбассе, на Южном Урале и в иных регионах [Sokol et al., 2002;

Новикова, 2009]. Как видно, аналогов фаялитовым плагиогранитам г. Кагель нет.

Материалы и методы исследования. Изучено строение интрузива г. Кагель и окружающих интенсивно дислоцированных толщ флиша таврической серии с множеством секущих интрузивных тел габброидов первомайско-аюдагского комплекса и редких субвулканических даек базальтов и долеритов карадагской серии. Детально изучена коллекция плагиогранитов, собранная авторами в обнаженной части г. Кагель. Химический состав плагиогранитов определен в лабораториях геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, состав минералов — с помощью аналитического комплекса с комбинированной системой микроанализа на базе сканирующего электронного микроскопа «Jeol JSM-6480 LV» (лаборатория локальных методов исследований кафедры петрологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова). Методика измерений стандартная [Рид, 2008]. Фотографии в режиме отраженных электронов и микронзондовые анализы минералов выполнила аналитик-исследователь Н.Н. Коротаева.

Киммериды Горного Крыма. Горный Крым — часть грандиозной Альпийско-Гималайской складчатой системы. Это мезозойское, киммерийское покровно-складчатое сооружение, состоящее из северной Лозовской и южной Горно-Крымской тектонических зон [Милеев и др., 2006]. Горный Крым — складчатая область с редуцированной историей геологического развития, здесь отсутствуют как типичные образования океанической стадии — мезозойские офиолиты [Спиридонов и др., 2019a], так и типичные образования орогенной стадии — калиевые гранитоиды. Значительную часть складчатого комплекса Горного Крыма составляют терригенные флишевые толщи таврической и эскиординской серий T_2-J_1 , сложно дислоцированные и несогласно перекрытые среднеюрскими угленосными конгломерато-песчано-глинистыми толщами, также заметно дислоцированными. Более древние толщи составляют ядра антиклинальных структур: Качинского, Южнобережного и Туакского поднятий [Муратов, 1973].

Интрузивные комплексы Горного Крыма. А.Е. Лагорио — один из первых петрографов России, изучавших магматические образования Крыма, установил два поколения интрузивных пород в Южном Крыму: более древние габброиды и секущие их гранодиориты с ксенолитами габброидов [Лагорио, 1887]. В дальнейшем эти соотношения были многократно подтверждены. Ассоциацию габброидов и гранитоидов, среди которых преобладают близкие к плагиогранитам, стали выделять как двухфазную габбро-плагиогранитную формацию [Лучицкий, 1939; Павлинов, 1946; Лебединский, Шалимов, 1967; Муратов, 1973]. Эта схема используется геологами-тектонистами поныне [Никишин и др., 2001; Милеев и др., 2006].

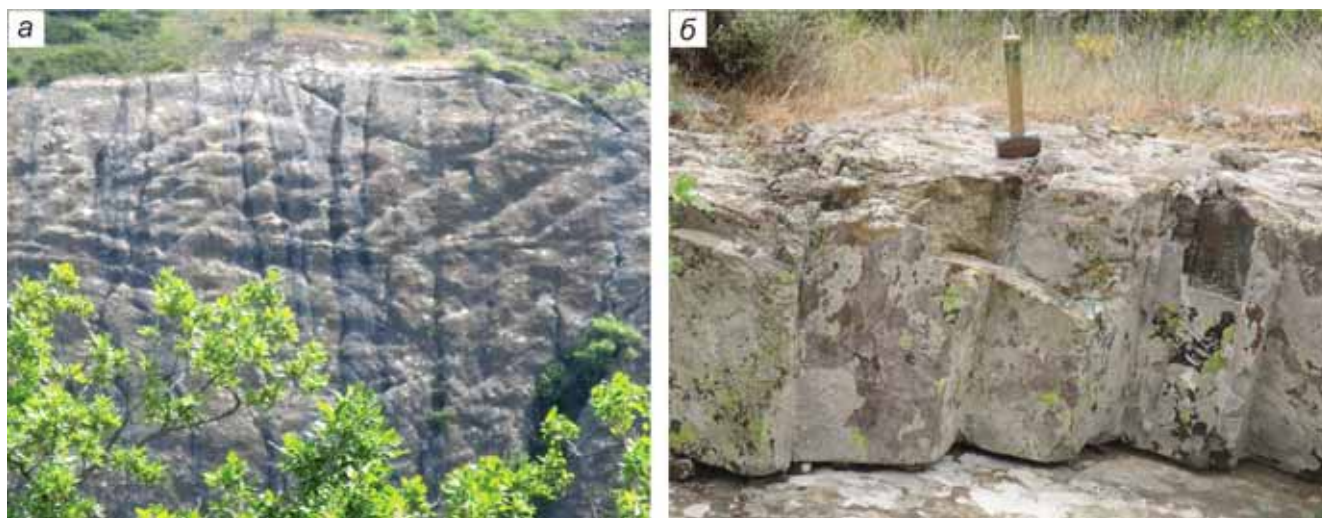


Рис. 1. Ненарушенная система первичных трещин отдельности в плагиогранитах. Северный склон горы Кафель (*а*); пологие криволинейные и крутопадающие параллелепипедообразные трещины отдельности в плагиогранитах у вершины купола (*б*)

Э.М. Спиридонов и Т.О. Федоров обособили два петрологически разных интрузивных комплекса — габброидный первомайско-аюдагский и гранитоидный кафельский [Спиридонов и др., 1990]. Первый комплекс завершился внедрением послеинтрузивных даек долеритов, второй — внедрением даек гранитоид-порфиров. Интрузивы раннебайосского первомайско-аюдагского комплекса пересечены жерловидами и дайками позднебайосской карадагской вулканической серии [Спиридонов и др., 1990]. Интрузивные породы первомайско-аюдагского комплекса и вулканические породы карадагской серии имеют островодужные петрохимические характеристики [Спиридонов и др., 1990; Meijiers et al., 2010]. Плагиограниты г. Кафель секут габброиды первомайско-аюдагского комплекса, субвулканические базальты и долериты карадагской серии, содержат их ксенолиты. Возможно, внедрение плагиогранитов кафельского комплекса сопровождало процессы складчатости вулканитов карадагской серии. Надежные радиометрические датировки для плагиогранитов г. Кафель пока не получены. Галька плагиогранитов, похожих на кафельские, описана в верхнеюрских конгломератах горы Демерджи [Чернов, 1971]. Вероятный возраст фаялитовых плагиогранитов г. Кафель отвечает границе J_2 и J_3 .

Для базитов первомайско-аюдагского комплекса типичны анортит, битовнит, ромбический пироксен, хромшпинелиды, армоколлит, Mg-ильменит, цирконолит, бадделеит, чевкинит, перьерит, алланит-(Ce); для кварцевых диоритов и плагиогранитов этого комплекса — алланит-(Ce) и торит [Спиридонов и др., 2018, 2019]. Для плагиогранитов кафельского комплекса типичны монацит-(Ce) и ксенотим-(Y) [Спиридонов, Путинцева, 2019]. Находка в плагиогранитах г. Кафель фаялита — еще одно свидетельство кардинального различия двух интрузивных комплексов киммерид Горного Крыма.

Интрузив плагиогранитов г. Кафель. Интрузивы плагиогранитоидов кафельского комплекса — Кафельский, Шахра, Ай-Йори, Серагоз — внедрились в ядерной части Южнобережного поднятия Горного Крыма в сложно дислоцированную толщу флиша таврической серии. Осадочные породы в этом регионе содержат заметное количество рассеянного органического вещества. На контакте ороговикованных осадочных пород с плагиогранитами часто развиты примазки графита.

Куполовидный интрузив г. Кафель размером около $1 \times 0,5$ км вытянут в долготном направлении. Рисунок трещин отдельности на хорошо препарированном северном склоне и в купольной части (рис. 1, *а*, *б*) свидетельствует, что интрузив не затронут сколько-нибудь интенсивными процессами тектонизации. Судя по ориентировке первичных трещин отдельности с углом падения до 7° в верхней части пологого купола [Павлинов, 1946], интрузив эродирован незначительно.

Его хорошо обнаженный западный контакт залегает криволинейно круто, почти вертикально, местами с крутым наклоном под интрузив. Интрузивный контакт с ороговикованными осадочными породами и биотитовыми роговиками приварен; поверхность контакта имеет сложную морфологию (рис. 2).

Складчатая толща флиша пронизана множеством небольших интрузивных тел габброидов первомайско-аюдагского комплекса: в кровле купола плагиогранитов, у западного, юго-восточного и северо-восточного его контактов. Там, где удается наблюдать их контакты, резко порфировидные тонко-мелкозернистые плагиограниты эндоконтакта срезают габброиды. Так, в прикровельной части интрузива плагиограниты секут мелко-среднезернистые габброиды и габбро-диориты первомайско-аюдагского комплекса, на юге западного склона г. Кафель плагиограниты пересекли среднезернистые анортит-битовнитовые

Рис. 2. Препарированная поверхность интрузивного контакта плагиогранитов и ороговиковых терригенных пород. Контакт приварен, имеет сложную морфологию; север западного склона г. Кастель



габбро-норит-долериты первомайско-аюдагского комплекса. На отдельных участках юго-восточного склона у подножия г. Кастель плагиограниты контактируют со средне-крупнозернистыми габбро-диоритами того же комплекса, содержат их ксенолиты.

Приконтактная часть интрузива шириной 10–15 м сложена тонко-мелкозернистыми резко порфировидными феррогортонолитовыми плагиогранитами, которые местами трудно отличимы по структуре от плагиогранит-порфиров секущих их даек; в породах даек железистого оливина нет. В глубь интрузива развиты фаялитовые плагиограниты, зернистость которых постепенно увеличивается до мелко-среднезернистой и среднезернистой (рис. 3). Интрузив окружен ореолом биотитовых



Рис. 3. Мелко-среднезернистые плагиограниты с вкрапленниками фаялита. В верхней части образца плагиограниты замещены околотрещинными березитами, 108×109 мм. Юго-запад южного склона г. Кастель

роговиков и ороговикованных пород. Роговики содержат кордиерит и андалузит [Прендель, 1887; Лучицкий, 1939], редкую вкрапленность пирротина и халькопирита. По всем признакам интрузив плагиогранитов г. Кастель формировался в гипабиссальных условиях.

Плагиограниты г. Кастель пересечены серией наклонных и крутопадающих плитообразных даек плагиогранит-порфиров мощностью до 3 м. Одна из наклонных даек с углом падения 30° бронирует поверхность интрузива на его северо-западном склоне; поверхность здесь плоская (рис. 4), в отличие от криволинейных поверхностей первичных трещин отдельности Кастельского купола по соседству. Крутопадающие дайки плагиогранит-порфиров развиты и на северном, и на южном склонах купола плагиогранитов — в западном углу карьера строительного камня. Среди плагиогранитов и ороговикованных пород немало зон брекчирования и дробления мощностью от нескольких дециметров до 1,5–6 м. Тектонические брекчии обычно гидротермально изменены. Широко развиты пропилитизированные породы с альбитом, высокожелезистым хлоритом, кварцем, клиноцоизитом-эпидотом, титанитом, пиритом, редким редкоземельным эпидотом; количество пирита варьирует от следов до 5–7%; на выходах такие породы обильно пропитаны гётитом — «ожелезнены». Еще шире развиты слабоберезитизированные породы с мелкочешуйчатым серицитом-мусковитом, карбонатом, хлоритом, пиритом, с гнездами и прожилками молочно-белого кварца. В старой каменоломне на южном склоне г. Кастель была вскрыта зона березитов ярко-желтого цвета с обильным пиритом, кварцевыми жилами. Пропилиты и березиты — средне- и низкотемпературные гидротермальные метасоматиты, наложенные на плагиогранит-порфиры даек.

На южном склоне г. Кастель проходит почти вертикальная долготная зона дробления мощ-



Рис. 4. Участок северо-западного склона плагиогранитного купола бронирован пологой плитообразной дайкой плагиогранит-порфиров

ностью 6–8 м. В ее пределах плагиограниты превращены в аргиллизиты, в центре находится жила гигантокристаллического полупрозрачного кальцита мощностью до 1,2 м, неясно, это производное кагельского комплекса или эпигенетическое образование.

Состав плагиогранитов г. Кагель. Химический состав плагиогранитов Кагельского интрузива устойчив; средний состав пород ($n=4$, масс.%): SiO_2 72,02; TiO_2 0,14; P_2O_5 0,08; Al_2O_3 14,01; FeO 2,84; MnO 0,10; MgO 0,13; CaO 2,52; Na_2O 4,57; K_2O 1,26; ппп 5,12; сумма 99,97. Это высокожелезистые породы ($f = 92,7$), умеренно низкокислотные, со значительным преобладанием натрия над калием — $\text{Na}_2\text{O}:\text{K}_2\text{O} = 3,6$ и тория над ураном.

В плагиогранитных породах более крупные выделения, имеющие вид вкрапленников, сложены осцилляционно-зональным плагиоклазом, фаяли-

том и/или феррогортонитом, высоким кварцем. Размер вкрапленников плагиоклаза до 3 мм, их состав варьирует от лабрадора до олигоклаза, в среднем отвечает андезину. Форма кристаллов феррогортонита и фаялита — типичная для оливины (рис. 5). Размер крупных кристаллов до 2 мм, крайне редко до 3 мм, обычно не более 0,5–1 мм. Преобладающий состав оливины — фаялит. Вокруг феррогортонита и фаялита нередко развиты каймы обратанния и замещения высокожелезистого ромбического пироксена — эулита ($\text{Ca}_{1,0-1,8}\text{Mg}_{1,2-27,5}\text{Fe}_{70,7-79,8}$) и более широкие каймы высокожелезистого биотита аннита. В матрице пород преобладают олигоклаз и кварц, распространены аннит, биотит, титаномагнетит, ильменит, ортоклаз, фторапатит с 1–3 масс.% Fe и Mn, циркон (рис. 6), монацит-(Ce), ксенотим-(Y), F-содержащий Алтитанит. Аннит содержит до 2,5 масс.% и фто-

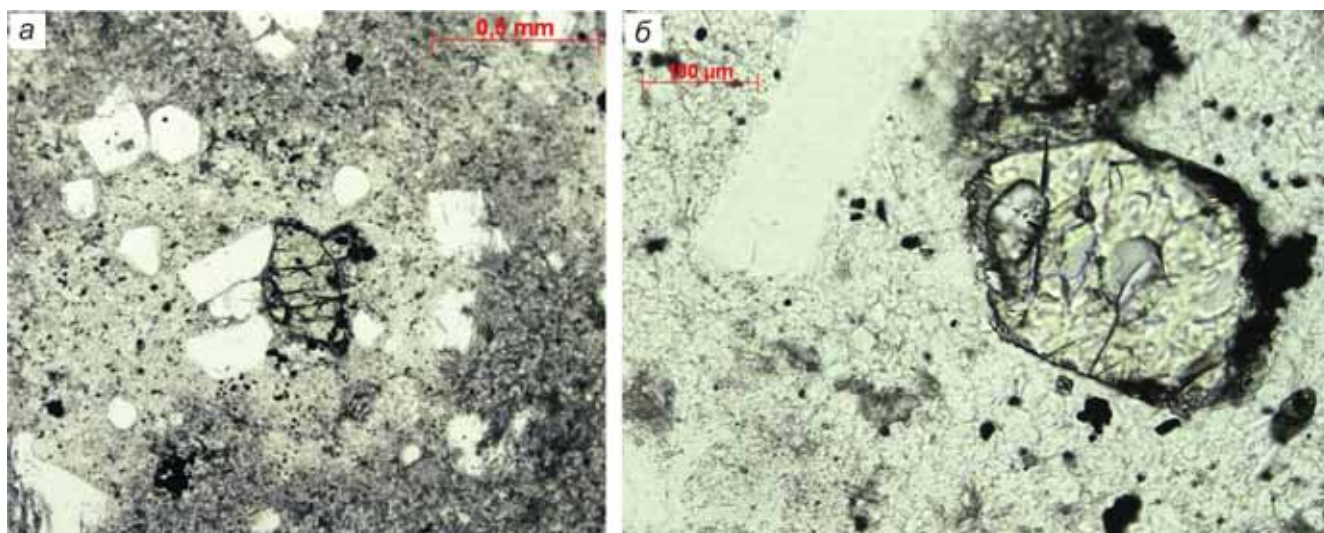
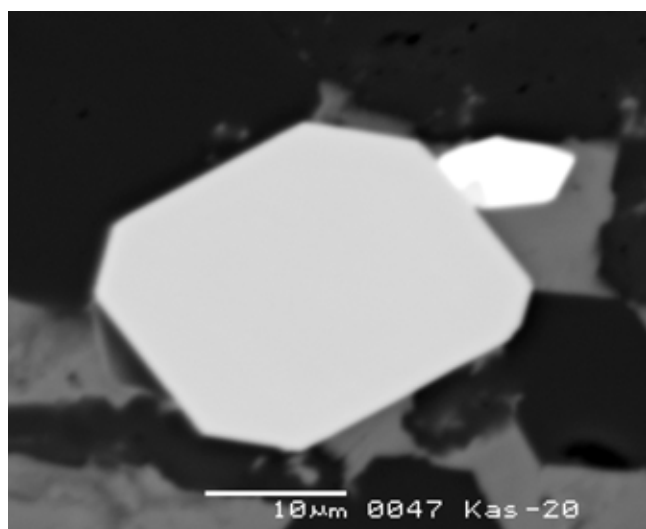
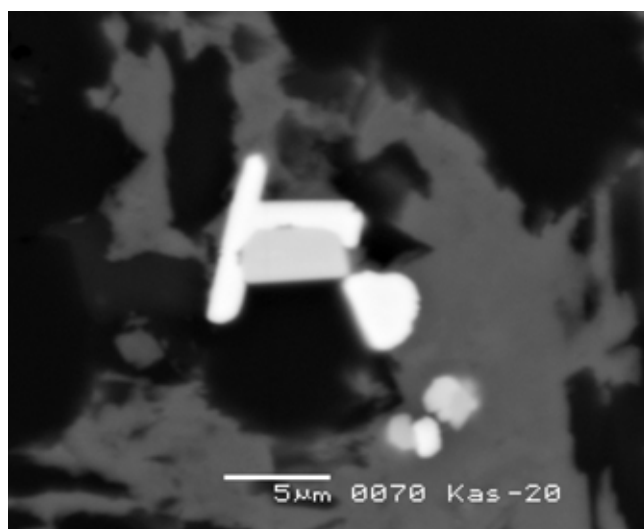


Рис. 5. Резкопорфировидные плагиограниты эндоконтакта с вкрапленниками андезин-лабрадора, феррогортонита (табл. 1, ан. 1) и высокого кварца (а); порфировидные плагиограниты ближе к центру интрузива с вкрапленниками фаялита (табл. 1, ан. 5) и андезина-олигоклаза (б). В проходящем свете при 1 никеле



а



б

Рис. 6. Плагииграниты ближе к центру интрузива: срастание кристаллов циркона (светло-серый) (табл. 3, ан. 14) и монацита (белый) (табл. 4, ан. 22) (а); срастание кристаллов монацита (белые) (табл. 4, ан. 23) и ксенотима (светло-серые) (табл. 5, ан. 28) в мелкозернистой силикатной матрице (б). В отраженных электронах

ра, и хлора. Типичный состав титаномagnetита (масс.%): FeO 41,37; MnO 1,08; ZnO 1,10; Fe₂O₃ 38,49; Al₂O₃ 4,63; V₂O₃ 0,20; TiO₂ 12,54; сумма 99,41; состав в миналах, мол.%: магнетит FeFe₂O₄ 50,9; ульвошпинель Fe₂TiO₄ 35,2; герцинит FeAl₂O₄ 7,3; якобит MnFe₂O₄ 3,4; ганит ZnAl₂O₄ 2,9; кулсонит FeV₂O₄ 0,3. Типичный состав фторапатита (масс.%): CaO 49,19; FeO 3,03; MnO 1,78; Na₂O 0,53; Ce₂O₃ 0,40; Nd₂O₃ 0,57; Sm₂O₃ 0,32; Gd₂O₃ 0,32; Dy₂O₃ 0,30; UO₂ 0,19; P₂O₅ 41,08; SiO₂ 0,22; F 3,46; Cl 0,39; сумма — O=F₂+Cl₂ 100,23; формула фторапатита (Ca_{4,51}Fe_{0,22}Mn_{0,13}Na_{0,09}Nd_{0,02}Ce_{0,01}Gd_{0,01}Sm_{0,01}Dy_{0,01})₅[(PO₄)_{2,98}(SiO₄)_{0,02}]₃(F_{0,94}Cl_{0,06})₁. Циркон, бедный торием и ураном, содержит в твердом растворе до 10,5% минала ксенотима-(Y), чаще 2–6%. В составе монацита-(Ce) следующие количественное соотношение лантанидов и иттрия (от их суммы): 37–39% Ce, 19–23% Nd, 13–16% La, 6–10% Y, 4–6% Pr, 4–6% Sm, 3–5% Gd. В составе ксенотима-(Y) количественное соотношение иттрия и лантанидов (от их суммы) таково (%): 67–72 Y; 6–7 Dy; 4–6 Gd; 4 Er; 3–4 Yb. Ксенотим содержит до 11% минала циркона в твердом растворе, обычно 1–6%. Железистость оливина-фаялита достигает 94%, ромбического пироксена-эулита — 81%, биотита аннита — 88%, титаномagnetит богат миалом ульвошпинели (до 41%), ильменит беден миалом гематита, что свидетельствует о кристаллизации плагиигранитов г. Кастель в резко восстановительных условиях.

Наметилось определенное изменение состава минералов плагиигранитов по мере удаления от контактов в глубь Кастельского интрузива, т.е. в ходе кристаллизационной дифференциации.

Плагииграниты эндоконтакта развиты в восточной части южного склона горы. Состав плагииоклаза в них варьирует от низкокалиевого лабрадора Ca_{60,5-50,4}Na_{39,0-49,0}K_{0,5-0,6} до умеренно калиевого

андезин-олигоклаза Ca_{30,5}Na_{66,5}K_{3,0}. С плагииоклазом образует срастания феррогортонолит (рис. 5, а), который преобладает в плагиигранитах непосредственного эндоконтакта (табл. 1, ан. 1-2). Его состав (Fe²⁺_{1,65-1,72}Mg_{0,29-0,21}Mn_{0,07-0,08})₂[SiO₄]; Fo 14,5–10,4, в среднем 12,7; содержание марганца составляет 2,32–3,02 масс.% MnO, в среднем 2,54%; минерал содержит немного Zn; Ni и Ca при стандартном микрозондовом анализе не обнаружены. Ильменит в плагиигранитах эндоконтакта содержит до 2,5 масс.% MnO. Типичный состав ильменита приведен в табл. 2 (ан. 7). Циркон содержит 0,86–1,32, в среднем 1,17 масс.% HfO₂; величина отношения ZrO₂/HfO₂ составляет 49–60, средняя 56,6 ($n=5$), содержит заметное количество Y и HREE; его состав отвечает формулам: (Zr_{0,89}Y_{0,09}Hf_{0,01}Yb_{0,01}Dy_{0,01})₁[(SiO₄)_{0,895}(PO₄)_{0,105}]₁ и (Zr_{0,94}Y_{0,04}Hf_{0,01}Dy_{0,01})₁[(SiO₄)_{0,95}(PO₄)_{0,05}]₁ (табл. 3, ан. 10 и 11); от 10,5 до 5% минала ксенотима. Монацит-(Ce) содержит до 7,4, в среднем 3,88 масс.% ThO₂ ($n=5$); его состав отвечает формулам: (Ce_{0,39}Nd_{0,20}La_{0,16}Y_{0,09}Pr_{0,04}Gd_{0,04}Sm_{0,04}Dy_{0,02}Tb_{0,01}Th_{0,01})₁[(PO₄)_{0,99}(SiO₄)_{0,01}]₁; (Ce_{0,39}Nd_{0,20}La_{0,17}Y_{0,07}Pr_{0,04}Sm_{0,04}Gd_{0,03}Th_{0,03}Dy_{0,02}Tb_{0,01})₁[(PO₄)_{0,97}(SiO₄)_{0,03}]₁ и (Ce_{0,36}Nd_{0,22}La_{0,10}Y_{0,09}Th_{0,07}Sm_{0,05}Pr_{0,04}Gd_{0,04}Dy_{0,02}Tb_{0,01})₁[(PO₄)_{0,93}(SiO₄)_{0,07}]₁ (табл. 4, 5, ан. 16, 17, 18). Ксенотим-(Y) содержит до 9% минала циркона в твердом растворе, заметное количество Th и U; его состав отвечает (Y_{0,67}Zr_{0,09}Dy_{0,06}Yb_{0,04}Gd_{0,04}Er_{0,04}Ho_{0,01}Sm_{0,01}Nd_{0,01}Tb_{0,01}Th_{0,01}U_{0,01})₁[(PO₄)_{0,895}(SiO₄)_{0,105}]₁ (табл. 6, 7, ан. 24). Обычно ксенотим содержит 6% минала циркона, его состав (Y_{0,68}Dy_{0,06}Zr_{0,06}Er_{0,05}Yb_{0,04}Gd_{0,04}Sm_{0,02}Nd_{0,01}Ho_{0,01}Lu_{0,01}Tb_{0,01}Tm_{0,01})₁[(PO₄)_{0,93}(SiO₄)_{0,07}]₁ (табл. 6, 7, ан. 25).

Плагииграниты промежуточной зоны развиты в центральной части южного склона горы. Состав плагииоклаза в них варьирует от низкокалиевого

Таблица 1

Химический состав (масс.%) феррогортонолита (1–3) и фаялита (4–6) плагиогранитов г. Кастель

Компоненты	1	2	3	4	5	6
MgO	6,01	5,06	4,31	3,87	2,97	2,36
NiO	нпо	нпо	нпо	нпо	0,04	0,04
FeO	60,89	61,61	61,86	62,16	62,94	63,94
MnO	2,41	2,44	2,66	2,54	2,90	3,16
ZnO (CoO)	нпо	0,23	нпо	нпо	(0,21)	(0,29)
CaO	нпо	нпо	0,09	0,08	0,10	0,05
SiO ₂	30,96	30,66	30,23	29,95	29,92	29,72
Сумма	100,27	100,00	99,15	98,56	99,08	98,86
Число атомов в формуле						
Mg	0,289	0,246	0,212	0,192	0,148	0,118
Ni	-	-	-	-	0,001	0,001
Fe ²⁺	1,645	1,681	1,712	1,734	1,759	1,781
Mn	0,066	0,067	0,074	0,072	0,082	0,091
Co	-	-	-	-	0,006	0,007
Zn	-	0,005	-	-	-	-
Ca	-	-	0,003	0,003	0,004	0,002
Сумма	2,000	2,000	2,001	2,001	2,000	1,998
Si	1,000	1,000	0,999	0,999	1,000	1,002
O	4					
Fe, %	14,5	12,3	10,6	9,6	7,4	5,9

Таблица 2

Химический состав (масс.%) ильменита плагиогранитов эндоконтакта (7), промежуточной (8) и центральной зон (9) интрузива г. Кастель

Компоненты	7	8	9
FeO	42,75	41,88	30,66
MnO	2,31	3,45	12,90
ZnO	1,10	0,81	0,25
TiO ₂	51,99	51,21	49,34
Fe ₂ O ₃	0,37	4,44	5,61
V ₂ O ₃	нпо	0,36	0,47
Сумма	99,41	102,15	99,23
Содержание миналов, мол.%			
FeTiO ₃	91,1	88,6	65,9
MnTiO ₃	5,0	7,2	27,7
ZnTiO ₃	3,6	1,4	0,5
Сумма	99,6	95,5	94,1
Fe ₂ O ₃	0,4	4,2	5,4
V ₂ O ₃	-	0,3	0,5

Примечание. Mg, Ni, Al, Cr не обнаружены.

Таблица 3

Химический состав (масс.%) циркона плагиогранитов эндоконтакта (10–11), промежуточной (12–13) и центральной зон (14–15) г. Кастель

Компоненты	10	11	12	13	14	15
ZrO ₂	58,52	62,32	61,33	62,90	63,45	63,69
HfO ₂	0,86	1,03	1,34	1,39	1,68	1,70
Y ₂ O ₃	5,46	2,98	3,13	2,59	1,82	1,83
Yb ₂ O ₃	0,89	нпо	0,72	нпо	нпо	нпо
Dy ₂ O ₃	0,67	0,57	0,28	нпо	нпо	нпо
SiO ₂	28,75	30,68	30,32	31,08	31,40	31,50
P ₂ O ₅	3,99	1,85	2,30	1,70	1,15	1,16
Сумма	99,14	99,43	99,42	99,66	99,50	99,88
Число атомов в формуле						
Zr	0,887	0,942	0,927	0,945	0,956	0,956
Hf	0,008	0,009	0,012	0,012	0,014	0,015
Y	0,091	0,043	0,052	0,042	0,030	0,030
Yb	0,008	-	0,007	-	-	-
Dy	0,007	0,006	0,003	-	-	-
Сумма	1,001	1,000	1,001	0,999	1,000	1,001
Si	0,894	0,951	0,939	0,957	0,970	0,969
P	0,105	0,049	0,060	0,044	0,030	0,030
Сумма	0,999	1,000	0,999	1,001	1,000	0,999
O	4					
Ксенотим, %	10,5	5	6	4	3	3

Примечание. U, Th, LREE, Ti не обнаружены.

лабрадора $\text{Ca}_{52,2}\text{Na}_{47,1}\text{K}_{0,7}$ до преобладающего андезина $\text{Ca}_{42,1}\text{Na}_{56,7}\text{K}_{1,2}$ и умереннокалиевого олигоклаза $\text{Ca}_{24,7}\text{Na}_{71,1}\text{K}_{4,2}$. Эти плагиограниты содержат гортонолит (табл. 1, ан. 3) и преобладающий фаялит (табл. 1, ан. 4). Состав этого железистого оливина отвечает $(\text{Fe}^{2+}_{1,71-1,77}\text{Mg}_{0,21-0,15}\text{Mn}_{0,07-0,08})_2[\text{SiO}_4]$; Fe 10,6–7,7, в среднем 9,2; содержание марганца составляет 2,66–2,99 масс.% MnO, в среднем 2,75%; минерал содержит до 0,1 масс.% CaO, Ni не обнаружен. Ильменит содержит до 5,1 масс.% MnO. Типичный состав ильменита приведен в табл. 2 (ан. 8). Циркон содержит 1,18–1,39, в среднем 1,28 масс.% HfO₂; величина отношения ZrO₂/HfO₂ составляет 46–59, средняя 52,5 ($n = 6$). Состав циркона отвечает формулам $(\text{Zr}_{0,93}\text{Y}_{0,05}\text{Hf}_{0,01}\text{Yb}_{0,01})_1[(\text{SiO}_4)_{0,94}(\text{PO}_4)_{0,06}]_1$ и $(\text{Zr}_{0,95}\text{Y}_{0,04}\text{Hf}_{0,01})_1[(\text{SiO}_4)_{0,96}(\text{PO}_4)_{0,04}]_1$ (табл. 3, ан. 12 и 13); циркон содержит в твердом растворе 4–6% минала ксенотима. Монацит-(Ce) содержит до 7,6, в среднем 4,16 масс.% ThO₂ ($n=16$); его состав отвечает $(\text{Ce}_{0,40}\text{Nd}_{0,20}\text{La}_{0,19}\text{Y}_{0,05}\text{Th}_{0,04}\text{Pr}_{0,04}\text{Gd}_{0,03}\text{Sm}_{0,03}\text{Dy}_{0,01}\text{Tb}_{0,01})_1[(\text{PO}_4)_{0,96}(\text{SiO}_4)_{0,04}]_1$, $(\text{Ce}_{0,36}\text{Nd}_{0,21}\text{La}_{0,14}\text{Y}_{0,08}\text{Th}_{0,06}\text{Sm}_{0,04}\text{Pr}_{0,04}\text{Gd}_{0,04}\text{Dy}_{0,02}\text{Tb}_{0,01})_1[(\text{PO}_4)_{0,94}(\text{SiO}_4)_{0,06}]_1$ и $(\text{Ce}_{0,37}\text{Nd}_{0,21}\text{La}_{0,12}\text{Y}_{0,09}\text{Th}_{0,07}\text{Sm}_{0,05}\text{Pr}_{0,05}\text{Gd}_{0,03}\text{Dy}_{0,01})_1[(\text{PO}_4)_{0,93}(\text{SiO}_4)_{0,07}]_1$ (табл. 4, 5, ан. 19–21). Ксенотим-(Y) со-

Таблица 4

Химический состав (масс.%) монацита-(Ce) плагиогранитов эндоконтакта (16–18), промежуточной (19–21) и центральной зон (22–23) интрузива г. Кагель

Компоненты	16	17	18	19	20	21	22	23
La ₂ O ₃	11,39	11,89	6,36	12,43	9,23	8,42	6,39	9,18
Ce ₂ O ₃	26,98	27,35	24,59	27,15	24,58	24,92	28,13	23,76
Pr ₂ O ₃	3,14	2,83	2,93	2,81	3,22	3,15	4,13	2,87
Nd ₂ O ₃	14,60	14,45	14,97	13,75	14,66	15,00	15,58	14,93
Sm ₂ O ₃	2,84	2,74	3,72	2,17	3,26	3,34	2,10	2,01
Gd ₂ O ₃	3,12	2,48	2,91	2,40	2,87	2,33	2,14	2,13
Tb ₂ O ₃	0,84	0,86	0,71	0,54	0,70	нпо	нпо	нпо
Dy ₂ O ₃	1,78	1,31	1,64	1,08	1,44	1,14	0,87	1,16
Y ₂ O ₃	4,37	3,60	4,09	2,43	3,77	4,00	4,37	4,52
ThO ₂	1,09	3,32	8,03	4,60	6,67	8,07	6,69	9,39
P ₂ O ₅	30,31	29,48	27,16	28,13	27,84	27,34	28,01	26,66
SiO ₂	0,25	0,78	1,84	1,02	1,52	1,83	1,58	2,23
Сумма	100,71	101,09	99,05	98,51	99,76	99,54	99,99	98,84
Содержание минералов, мол.%								
Монацит	90	90	84	91	86	84	85	81
Хаттонит	1	3	7	4	6	7	6	9
Ксенотим	9	7	9	5	8	9	9	10
Сумма	100							

Примечание. Но, Ер, Тм, Yb, Lu, U, S не обнаружены.

держит около 4% минерала циркона в твердом растворе, его состав отвечает формулам $(Y_{0,72}Dy_{0,06}Zr_{0,04}Yb_{0,04}Gd_{0,04}Er_{0,04}Sm_{0,02}Nd_{0,01}Ho_{0,01}Tb_{0,01}Tm_{0,01})_1[(PO_4)_{0,96}(SiO_4)_{0,04}]_1$ и $(Y_{0,71}Dy_{0,06}Yb_{0,04}Zr_{0,04}Er_{0,04}Gd_{0,04}Nd_{0,01}Sm_{0,01}Ho_{0,01}Lu_{0,01}Tb_{0,01}Tm_{0,01}Th_{0,01})_1[(PO_4)_{0,93}(SiO_4)_{0,07}]_1$ (табл. 6, 7, ан. 26 и 27).

Плагиограниты, расположенные ближе к центру интрузива, развиты в юго-западной части южного склона горы. Состав плагиоклаза в них варьирует от преобладающего андезина $Ca_{41,5}Na_{57,1}K_{1,4}$ до умеренно калиевого олигоклаза $Ca_{28,2}Na_{69,0}K_{2,8}$. Эти плагиограниты содержат фаялит (табл. 1, ан. 5, 6) с составом $(Fe^{2+}_{1,72-1,78}Mg_{0,19-0,12}Mn_{0,08-0,09})_2[SiO_4]$; Fe 9,3–5,9, в среднем 7,2; содержание марганца 2,90–3,20 масс.% MnO , в среднем 3,06%; минерал содержит до 0,1 масс.% CaO ; интересно, что кобальт в составе этого железистого оливина существенно преобладает над никелем. Ильменит обогащен марганцем, содержит до 13,3 масс.% MnO . Типичный состав ильменита приведен в табл. 2 (ан. 9). Циркон содержит 1,22–1,73, в среднем 1,55 масс.% HfO_2 ; величина отношения ZrO_2/HfO_2 составляет 38–54, средняя 43,2 ($n=5$); его состав отвечает формулам: $(Zr_{0,96}Y_{0,03}Hf_{0,01})_1[(SiO_4)_{0,97}(PO_4)_{0,03}]_1$ и $(Zr_{0,95}Y_{0,03}Hf_{0,02})_1[(SiO_4)_{0,97}(PO_4)_{0,03}]_1$ (табл. 3, ан. 14 и 15); циркон содержит в твердом растворе 3% минерала ксенотима. Монацит-(Ce) содержит до 10,4, в среднем 4,37 масс.% ThO_2 ($n=9$); его состав несколько варьирует и отвечает формулам: $(Ce_{0,41}Nd_{0,22}La_{0,09}Y_{0,09}Th_{0,06}Pr_{0,06}Sm_{0,03}Gd_{0,03}Dy_{0,01})_1[(PO_4)_{0,94}(SiO_4)_{0,06}]_1$; и $(Ce_{0,35}Nd_{0,21}La_{0,14}Y_{0,10}Th_{0,09}Pr_{0,04}Gd_{0,03}Sm_{0,03}Dy_{0,01})_1[(PO_4)_{0,91}(SiO_4)_{0,09}]_1$ (табл. 4, 5,

ан. 22 и 23). Ксенотим-(Y) содержит от 2 до 1% минерала циркона в твердом растворе; его состав отвечает $(Y_{0,68}Dy_{0,06}Gd_{0,06}Er_{0,04}Yb_{0,03}Nd_{0,02}Tb_{0,02}Zr_{0,02}Sm_{0,02}Ho_{0,01}Lu_{0,01}Th_{0,01}Ce_{0,01}Tm_{0,01})_1[(PO_4)_{0,97}(SiO_4)_{0,03}]_1$ и $(Y_{0,76}Dy_{0,06}Gd_{0,05}Er_{0,04}Yb_{0,03}Tb_{0,02}Zr_{0,01}Ho_{0,01}Nd_{0,01}Sm_{0,01}Th_{0,01})_{1,01}[(PO_4)_{0,97}(SiO_4)_{0,02}]_{0,99}$ (табл. 6, 7, ан. 28 и 29). Единичные кристаллы слагает богатый торием минерал — твердый раствор ксенотим-(Y) $(Y,HREE)[PO_4]$ (7%) — хаттонит $Th[SiO_4]$ (34%) — монацит-(Ce) $LREE[PO_4]$ (59%); его состав (масс.%): La_2O_3 2,93; Ce_2O_3 20,55; Pr_2O_3 1,49; Nd_2O_3 7,23; Sm_2O_3 2,10; Gd_2O_3 1,93; Tb_2O_3 0,9; Dy_2O_3 0,84; Y_2O_3 3,06; ThO_2 33,34; UO_2 0,58; P_2O_5 17,87; SiO_2 7,72; сумма 100,13; формула минерала $(Th_{0,34}Ce_{0,33}Nd_{0,12}Y_{0,07}La_{0,05}Sm_{0,03}Gd_{0,03}Dy_{0,01}Tb_{0,01}U_{0,01})_1[(PO_4)_{0,66}(SiO_4)_{0,34}]_1$.

Итак, в ходе кристаллизационной дифференциации плагиогранитов г. Кагель произошло накопление Fe и Mn в составе оливина, Na и K — в составе плагиоклаза, Mn — в составе ильменита, Hf — в составе циркона, Th — в составе монацита; сужение области твердых растворов циркона и ксенотима. Можно полагать, что возникновению фаялита способствовало наличие органического вещества в экзоконтактовой зоне интрузива и графита на его контактах, а сохранности фаялита — гипабассальные условия формирования интрузивных пород.

О возможном источнике расплавов плагиогранитов г. Кагель. Химический состав фаялитовых плагиогранитов Кагельского интрузива близок к составу плагиориолитов знаменитой в Крыму дайки альмандин-феррокордиеритовых риолитов

Таблица 5

Формульные единицы монацита-(Ce) плагиогранитов г. Кагель

Компоненты	16	17	18	19	20	21	22	23
La	0,162	0,170	0,095	0,185	0,136	0,124	0,094	0,137
Ce	0,381	0,389	0,362	0,400	0,358	0,366	0,407	0,350
Pr	0,044	0,040	0,043	0,041	0,046	0,046	0,059	0,042
Nd	0,201	0,201	0,216	0,198	0,209	0,214	0,220	0,215
Sm	0,038	0,037	0,052	0,030	0,045	0,046	0,029	0,028
Gd	0,040	0,032	0,039	0,032	0,038	0,031	0,028	0,029
Tb	0,011	0,011	0,009	0,007	0,009	-	-	-
Dy	0,022	0,016	0,021	0,014	0,018	0,015	0,011	0,015
Y	0,094	0,074	0,088	0,052	0,080	0,085	0,092	0,097
Th	0,009	0,029	0,074	0,042	0,061	0,073	0,060	0,086
Сумма	1,001	1,000	0,999	1,001	1,000	1,000	1,000	0,999
PO ₄	0,989	0,970	0,927	0,958	0,939	0,927	0,938	0,911
SiO ₄	0,010	0,030	0,074	0,041	0,061	0,073	0,062	0,090
Сумма	0,999	1,000	1,001	0,999	1,000	1,000	1,000	1,001

Таблица 6

Химический состав (масс.%) ксенотима-(Y) в плагиогранитах эндоконтакта (24–25), промежуточной (26–27) и центральной зон (28–29) интрузива г. Кагель

Компоненты	24	25	26	27	28	29
Y ₂ O ₃	36,84	37,38	40,61	39,80	37,49	43,14
Ce ₂ O ₃	нпо	нпо	нпо	нпо	0,55	нпо
Nd ₂ O ₃	0,83	1,27	1,04	1,19	1,46	0,92
Sm ₂ O ₃	1,10	1,47	1,35	1,14	1,31	0,91
Gd ₂ O ₃	3,30	3,58	3,57	3,56	5,31	4,29
Tb ₂ O ₃	0,47	0,76	0,85	0,73	1,58	1,44
Dy ₂ O ₃	5,29	5,64	5,86	6,01	5,82	5,77
Ho ₂ O ₃	1,26	1,05	0,99	1,21	1,14	1,11
Er ₂ O ₃	3,43	4,38	3,55	3,69	3,89	3,38
Tm ₂ O ₃	0,51	0,68	0,51	0,68	0,71	0,41
Yb ₂ O ₃	4,12	4,29	3,86	4,07	2,84	3,22
Lu ₂ O ₃	нпо	1,25	нпо	0,87	1,07	нпо
ZrO ₂	5,36	3,53	2,51	2,38	1,00	0,76
ThO ₂	0,91	нпо	нпо	0,81	1,06	1,10
UO ₂	0,97	нпо	нпо	нпо	0,40	0,41
P ₂ O ₅	30,93	32,49	33,69	33,78	33,33	34,37
SiO ₂	3,05	1,71	1,25	1,35	0,87	0,70
Сумма	98,69	99,48	99,64	101,62	99,83	101,93
Содержание минералов, мол.%						
Ксенотим	88	91	93	92	93	96
Циркон	9	6	4	4	2	1
Торит	0,5	-	-	1	1	1
Коффинит	0,5	-	-	-	-	-
Монацит	2	3	3	3	4	2
Сумма	100					

Примечание. La, Pr, Eu, S не обнаружены.

Таблица 7

Формульные единицы ксенотима-(Y) плагиогранитов г. Кагель

Компоненты	24	25	26	27	28	29
Y	0,672	0,678	0,726	0,706	0,686	0,762
Ce	-	-	-	-	0,007	-
Nd	0,010	0,015	0,013	0,014	0,018	0,011
Sm	0,013	0,017	0,016	0,013	0,015	0,010
Gd	0,037	0,041	0,040	0,039	0,061	0,041
Tb	0,009	0,009	0,009	0,008	0,018	0,016
Dy	0,058	0,062	0,063	0,065	0,064	0,062
Ho	0,014	0,011	0,010	0,013	0,013	0,012
Er	0,037	0,047	0,037	0,039	0,042	0,035
Tm	0,005	0,007	0,005	0,007	0,007	0,004
Yb	0,043	0,045	0,040	0,042	0,030	0,032
Lu	-	0,013	-	0,009	0,011	-
Zr	0,089	0,059	0,041	0,039	0,017	0,012
Th	0,007	-	-	0,006	0,008	0,008
U	0,007	-	-	-	0,003	0,003
Сумма	1,001	1,004	1,000	1,000	1,000	1,011
PO ₄	0,895	0,938	0,958	0,955	0,970	0,966
SiO ₄	0,104	0,058	0,042	0,045	0,030	0,023
Сумма	0,999	0,996	1,000	1,000	1,000	0,989

(«форелевого камня»), которая расположена у юго-западного подножия г. Кагель. Для этих плагиогранитов предложен механизм формирования материнского расплава при палингенезе высокожелезистых гранат-кордиеритовых плагиогнейсов амфиболитовой фации, содержащихся в виде реликтов в этих плагиогранитах и слагающих в этом месте кристаллический фундамент Горного Крыма [Спиридонов, 2017, 2018]. Аналогичный механизм приемлем и для высокожелезистых кагельских плагиогранитов.

Заключение. Гипабиссальный интрузив г. Кагель сложен послеостроводужными фаялитовыми плагиогранитами. Судя по рисунку первичных трещин отдельности, степень тектонизации интрузива невелика. Эндоконтактная зона шириной до 15 м сложена резко порфировидными плагиогранитами с феррогортонитом. Далее от контактов развиты резко порфировидные и порфировидные плагиограниты с феррогортонитом и фаялитом. В глубь интрузива их сменяют мелкозернистые и далее среднезернистые плагиограниты с фаялитом. Кагельские плагиограниты с высокожелезистыми оливином, ромбическим пироксеном и биотитом богаты титаногмагнетитом, цирконом, фторапатитом, монацитом-(Ce) и ксенотимом-(Y). В ходе кристаллизационной дифференциации плагиогранитов г. Кагель произошло накопление Fe и Mn в составе оливина, Na и K — в составе плагиоклаза, Mn — в составе ильменита, Hf — в составе циркона, Th — в составе монацита; существенно сузились области твердых растворов циркона и ксенотима. В кагельском монаците Nd преоб-

ладает над La ; в обычном монаците соотношения обратные. Торий входит в состав монацита кафельных плагиогранитов в виде минала хаттонита $\text{Th}[\text{SiO}_4]$.

Плагиограниты пересечены плитообразными дайками плагиогранит-порфиров. Послегранитоидные, последайковые гидротермальные метасоматиты представлены пропилитами и березитами гипабиссальной фации и жилами молочно-белого кварца.

Эндемичные фаялитовые плагиограниты могли возникнуть в условиях орогенного режи-

ма, который, по-видимому, следует выделить в геологической истории мезозой Горного Крыма.

Благодарности. Авторы благодарны Н.Н. Коротаевой за высокое качество фотографий и химических анализов минералов, полученных с помощью электронного микронзонда.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-05-00490) с использованием оборудования, приобретенного за счет средств Программы развития Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ананьев В.А., Ревердатто В.В. Уникальная минеральная ассоциация Fe-апатит — Fe-кордиерит — фаялит на Аю-Даге как результат контактового метаморфизма // Докл. РАН. 1997. Т. 353. № 3. С. 362–364.

Грачева О.С. Фаялитовые и сидерофиллитовые грейзены Верхне-Колымского региона // Зап. ВМО. 1966. Ч. 95, вып. 5. С. 583–588.

Ерёменко Г.К., Ерёменко Е.И. Метакарбонатные контактовые роговики Аю-Дага // Докл. АН УССР. Сер. Б. 1972. № 7. С. 585–589.

Заварицкий А.Н. Изверженные горные породы. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 480 с.

Золотухин В.В. О находке фаялитсодержащих метасоматитов в рудах Норильска // Докл. АН СССР. 1971. Т. 198. С. 692–695.

Иванова Л.А., Медведев В.Я., Почекунина М.В. Особенности образования фаялита в восстановленных системах // Докл. РАН. 2007. Т. 417. № 3. С. 382–384.

Кривдик С.Г., Орс В.И., Брянский В.П. Фаялит-генденбергитовые сиениты юго-западной части Корсунь-Новомиргородского плутона // Геол. журн. 1988. Т. 6. С. 43–53.

Лагорио А.Е. К геологии Крыма. О некоторых массивных горных породах Крыма и их геологическом значении // Зап. Варшавского ун-та. 1887. № 5. С. 1–16; № 6. С. 17–48.

Лебединский В.И., Шалимов А.И. Магматические проявления в структуре и геологической истории Горного Крыма // Сов. геология. 1967. № 2. С. 82–97.

Луцкий В.И. Петрография Крыма. Петрография СССР. Сер. 1. Региональная петрография. Вып. 8. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1939. 98 с.

Маракушев А.А., Тарарин И.А., Залищак Б.Л. Минеральные фации гранитоидов и их рудоносность. М.: Наука, 1966. 272 с.

Масайтис В.Л. Петрология Аламджахского траппового интрузива. Л.: Госгеолтехиздат, 1958. 135 с.

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.

Муратов М.В. Геология Крымского полуострова. М.: Недра, 1973. 192 с.

Никишин А.М., Коротаев М.В., Болотов С.Н., Ершов А.В. Тектоническая история Черноморского бассейна // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2001. Т. 76, вып. 3. С. 3–18.

Новикова С.А. Фаялит из железистых паралав древних угольных пожаров Кузбасса // Зап. РМО. 2009. Ч. 138. Вып. 1. С. 9–104.

Павлинов В.Н. Форма и механизмы образования малых интрузий типа лакколлитов. М.: МГРИ, 1946. 411 с.

Прендель Р.А. Кристаллические породы горы Кафель и прилегающей к ней местности // Зап. Новороссийского общества естествознания. Одесса, 1886. Т. VI. Вып. 1. С. 173–210.

Рид С.Дж.Б. Электронно-зондовый микроанализ и растровая электронная микроскопия в геологии. М.: Техносфера, 2008. 232 с.

Рябов В.В., Павлов А.Л., Лопатин Г.Г. Самородное железо сибирских траппов. Новосибирск: Наука, 1985. 169 с.

Спиридонов Э.М. Рудно-магматические системы Норильского рудного поля // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. С. 1356–1378.

Спиридонов Э.М. Природный металлургический процесс // Современные проблемы магматизма и метаморфизма. Т. 2. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2012. С. 249–252.

Спиридонов Э.М. Островодужные феррокордиерит-альмандиновые плагиоориолиты горы Кафель, Горный Крым // Изв. вузов. Геология и разведка. 2017. № 2. С. 15–21.

Спиридонов Э.М. О составе фундамента киммерид Горного Крыма // Проблемы тектоники и геодинамики земной коры и мантии. Т. 2. М.: Геос, 2018. С. 219–223.

Спиридонов Э.М., Путинцева Е.В. Фаялитовые плагиограниты интрузива горы Кафель, мезозойды Горного Крыма // Ломоносовские чтения-2019. URL: <https://conf.msu.ru/rus/event/5604/>

Спиридонов Э.М., Семиколенных Е.С., Филимонов С.В. и др. Армолколлит-содержащие островодужные плагиоерцолиты и оливиновые габбро-нориты Балаклавы, Горный Крым // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2019. № 3. С. 51–60.

Спиридонов Э.М., Федоров 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.

Спиридонов Э.М., Филимонов С.В., Семиколенных Е.С. и др. Цирконолит, бадделит, циркон и торит островодужных анортит-битовнитовых кварцевых габбро-норит-долеритов интрузива Аю-Даг, Горный Крым // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2018. № 5. С. 71–79.

Чернов В.Г. О составе верхнеюрских конгломератов горы Демерджи в Крыму // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1971. № 2. С. 17–28.

Шнюкова Е.Е. Субдукционно-связанный магматизм Южного Крыма: море и суша // Геологія і корисні копалини Світового океану. 2019. Т. 15, № 3. С. 3–24.

Civetta L., D'Antonio M., Orsi G., Tilton G.R. The geochemistry of volcanic rocks from Pantelleria Island, Sicily // *J. Petrol.* 1998. Vol. 39. P. 1453–1491.

Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. Rock-forming minerals. 2nd ed. Vol. 1A. Orthosilicates. L.: Longman, Green and Co, 1982. 597 p.

Frost C.D., Frost B.R., Chamberlain K.R., Edwards B.R. Petrogenesis of the 1.43 Ga Sherman batholith, SE Wyoming, USA: a reduced, rapakivi-type anorogenic granite // *J. Petrol.* 1999. Vol. 40. P. 1771–1802.

Frost C.D., Lindsley D.H., Andersen D.J. Fe-Ti oxide — silicate equilibria: Assemblages with fayalitic olivine // *Amer. Mineral.* 1988. Vol. 73. P. 727–740.

Howard W.J., Chapman R.W. Occurrence and age of chevkinite from the Devil's slide fayalite — quartz sienite near Stark, New Hampshire // *Amer. Mineral.* 1956. Vol. 41. P. 474–487.

Ike E.C., Bowden P., Martin R.F. Fayalite and clinopyroxene in the porphyries of the Tibchi anorogenic ring-complex, Nigeria: postmagmatic initiation of a peralkaline trend // *Canad. Mineral.* 1984. Vol. 22. P. 401–409.

Meijers M.J.M., Vrouwe B., van Hinsbergen D.J.J. et al. 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.

Mücke A. Fayalite, pyroxene, amphibole, annite and their decay products in mafic clots within the Younger Granites of Nigeria: Petrography, mineral chemistry and genetic implications // *J. African Earth Sci.* 2003. Vol. 36. P. 55–71.

Njonfang E., Moreau C. The mafic mineralogy of the Pandé massif, Tikar plain, Cameroon: implications for a peralkaline affinity and emplacement from highly evolved alkali magma // *Mineral. Mag.* 2000. Vol. 64 (3). P. 525–537.

Sokol E., Sharygin V., Kalugin V., Volkova N. Fayalite and kirschsteinite solid solutions in melts from burned spoil-heaps, South Urals, Russia // *Eur. J. Miner.* 2002. Vol. 14. P. 795–807.

Stevenson N.C.N., Hensel H.D. A Precambrian fayalite granite from the south coast of Western Australia // *Lithos.* 1978. Vol. 11. P. 209–218.

Tilley C.E. Eulysites and related rock types // *Mineral. Mag.* 1936. Vol. 24. P. 331–342.

Vásquez P., Glodny J., Franz G., Romer R. Origin of fayalite granitoids: New insights from the Cobquecura Pluton, Chile, and its metapelitic xenoliths // *Lithos.* 2009. Vol. 110. P. 181–198.

Wager L.R., Brown G.M. Layered igneous complexes. Edinburg: Oliver & Boyd, 1967. 587 p.

Поступила в редакцию 12.03.2020

Поступила с доработки 05.04.2021

Принята к публикации 03.08.2021