

УДК 549.651.2 (477.75)

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2024-63-2-85-95

## ПЛАГИОКЛАЗ ИНТРУЗИВНЫХ ПОРОД ОСТРОВОДУЖНОГО ПЕРВОМАЙСКО-АЮДАГСКОГО КОМПЛЕКСА ГОРНОГО КРЫМА — ОТ ПЛАГИОЛЕРЦОЛИТОВ ДО ПЛАГИОГРАНИТОВ

Георгий Николаевич Овсянников<sup>1</sup>✉, Эрнст Максович Спиридонов<sup>2</sup>,  
Сергей Владимирович Филимонов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия; george2098@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-4470-5788>

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; ernstspiridon@gmail.com

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; sefi@geol.msu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5487-8906>

**Аннотация.** Среднеюрский гипабиссальный островодужный первомайско-аюдагский интрузивный комплекс в мезозоидах Горного Крыма включает: плагиолерцолиты, оливиновые габбронорит-долериты, бескварцевые и кварцевые габбронорит-долериты, бескварцевые и кварцевые габбронорит-диориты, кварцевые диориты, плагиограниты. Их характерная особенность — обилие анортита ( $An_{92-90}$ ) и битовнита ( $An_{89-73}$ ), которых нет только в кварцевых диоритах и плагиогранитах. Такой состав плагиоклаза типичен для островодужных базитов. Из-за обилия анортита и битовнита, которые бедны кремнеземом, многие типы габброидов комплекса богаты кварцем. Анортит и битовнит обогащены железом до 0,9–1,0 масс.% FeO. От анортита к альбит-олигоклазу содержание калия возрастает по экспоненте от сотых долей до 1,4 масс.%  $K_2O$ . Даже при небольшой степени эпигенетических метаморфических изменений содержание калия в плагиоклазе заметно падает. В габброидах центральных частей интрузивов удлинение кристаллов плагиоклаза (от анортита до андезина) от 2 до 5,5, обычно 3–4. Эффузивоподобные резко порфиридные микрогаббро-долериты зоны закалки содержат вкрапленники плагиоклаза с удлинением до 10, в их мелкозернистой матрице развиты расщепленные лейсты плагиоклаза с удлинением до 10 и более.

**Ключевые слова:** анортит, битовнит, лабрадор, андезин, олигоклаз, островодужный первомайско-аюдагский интрузивный комплекс, мезозоиды Горного Крыма

**Для цитирования:** Овсянников Г.Н., Спиридонов Э.М., Филимонов С.В. Плагиоклаз интрузивных пород островодужного первомайско-аюдагского комплекса Горного Крыма — от плагиолерцолитов до плагиогранитов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2024. № 2. С. 85–95.

## PLAGIOCLASE OF INTRUSIVE ROCKS FROM THE ISLANDARC PERVOMAY-AYUDAG COMPLEX (MOUNTAIN CRIMEA) — FROM PLAGIOLERZOLITES TO PLAGIOGRANITES

Georgiy N. Ovsyannikov<sup>1</sup>✉, Ernst M. Spiridonov<sup>2</sup>, Sergey V. Filimonov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; Institute of volcanology and seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia george2098@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-4470-5788>

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; ernstspiridon@gmail.com

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; sefi@geol.msu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5487-8906>

**Abstract.** The Middle Jurassic hypabyssal island-arc pervomay-ayudag intrusive complex includes plagiolerzolites, olivine gabbro-norites, quartz gabbro-norites, quartz gabbro-norite-diorites, quartz diorites, plagiogranites. Ultramafic and mafic rocks contain anorthite ( $An_{92-90}$ ) and bytownite ( $An_{89-73}$ ). Plagiogranites containing andesine and oligoclase, up to albite-oligoclase ( $An_{19-9}$ ). This composition of plagioclase is typical for island-arc rocks. Due to the abundance of anorthite and bytownite, which are poor in silica, many types of gabbroids of the pervomay-ayudag complex are enriched with quartz. Calcium-rich plagioclases of the complex are enriched with FeO up to 0.9 wt.%. From anorthite to oligoclase, the  $K_2O$  content gradually increases up to 1.4 wt.%. During the alteration process, plagioclase significantly depletes with  $K_2O$ . In the gabbroids of the central parts of intrusive bodies, the elongation of plagioclase crystals from anorthite to andesine is 2–5, usually 3–4. The porphyritic gabbroids of the quenching zone contain long-prismatic plagioclase crystals with elongation up to 10, and the fine-grained matrix contains skeleton crystals.

**Keywords:** anorthite, bytownite, labradorite, andesine, oligoclase, pervomay-ayudag intrusive complex, mezo-zoids of Mountainous Crimea

**For citation:** Ovsyannikov G.N., Spiridonov E.M., Filimonov S.V. Plagioclase of intrusive rocks from the islandarc pervomay-ayudag complex (Mountain Crimea) — from plagiolerzolites to plagiogranites. *Moscow University Geol. Bull.* 2024; 2: 85–95. (In Russ.).

**Введение.** Согласно исследованиям авторов и других ученых [Спиридонов и др., 1989, 1990, 2019а, 2023; Meijers et al., 2010; Nikishin et al., 2015; Popov et al., 2019], в мезозоидах Горного Крыма существовала среднеюрская — байосская вулканическая островная дуга, протянувшаяся от района Севастополя и Симферополя до Карадага. В байосское время произошел всплеск магматической активности в мезозоидах Горного Крыма — возникла толща шаровых лав базальтов Балаклавы, затем внедрились интрузивы первомайско-аюдагского габбронорит-плагиогранитного комплекса, которые пересечены субвулканическими телами и дайками базальтов и андезитов бодракского субвулканического комплекса, накопились вулканыты карадагской вулканической серии [Фирсов, 1963; Багдасарян, Лебединский, 1967; Лебединский, Шалимов, 1967; Спиридонов и др., 1990, 2019б; Никитин, Болотов, 2006–2007]. Широкое распространение анортита во многих типах пород первомайско-аюдагского комплекса [Кравченко, 1958; Спиридонов и др., 1990–2023] исключило гипотезу о гранитоидной природе интрузивов Южного Крыма, выдвинутую в работе [Павлинов, 1946]. При эпигенетическом региональном низкоградном метаморфизме позднеюрского возраста среднеюрские магматические породы были в значительной степени превращены в зеленокаменные [Спиридонов, 1989]. Ранее эффект превращения юрских вулканитов Крыма в зеленокаменные и палеотипные описали Д.И. Щербаков [1915] и Ф.Ю. Левинсон-Лессинг [1929]. Низкоградный метаморфизм проявлен крайне неоднородно. Поэтому удалось обнаружить значительное количество довольно свежих интрузивных пород островодужного первомайско-аюдагского комплекса, детально изучить их минеральный состав, получить массу анализов плагиоклаза. Это позволило дать надежные наименования широкому кругу магматических горных пород Горного Крыма.

**Геология Горного Крыма.** Горный Крым — это мезозойское покровно-складчатое сооружение, состоящее из северной Лозовской и южной Горнокрымской тектонических зон [Милеев и др., 2009]. Значительную часть складчатого комплекса слагают терригенные флишевые толщи  $T_2$ – $J_1$  таврической и эскиордынской серий, сложно дислоцированные и несогласно перекрытые  $J_2$  угленосными конгломерат-песчано-глинистыми толщами, заметно дислоцированными [Муратов, 1973, Милеев и др., 2009; Nikishin et al., 2015]. По геофизическим данным мощность блоков терригенных пород — до 4,5 км. Более древние толщи слагают ядра Качинского, Южнобережного и Туакского поднятий.

Терригенные толщи пересечены и контактово метаморфизованы небольшими по размерам интрузивами островодужного среднеюрского раннебайосского первомайско-аюдагского комплекса, которые развиты в Горно-Крымской (Аю-Даг, Балаклава, Лебединский, Донузоран и др.) и в Лозовской зоне (Первомайский-Кушнаревский, Джидайский и др.)

[Спиридонов и др., 1990; 2022]. Байосский возраст интрузивных пород первомайско-аюдагского комплекса подтвержден изотопными датировками по циркону [Морозова и др., 2012; 2017]. Данный комплекс объединяет распространенные в Горном Крыму штоки, нередко куполовидные — ранее их часто именовали лакколитами [Лучицкий, 1939; Павлинов, 1946; Кравченко, 1958; Муратов, 1973], дайкообразные и силлообразные тела [Лебединский, Шалимов, 1967; Латыпов, Панов, 2008] габбронорит-диоритов от оливиновых до кварцевых (с обособлениями плагиоферцолитов), кварцсодержащих и кварцевых габбронорит-диоритов и кварцевых диоритов (с шлирами и жилами гранодиоритов, плагиогранитов и гранофировых гранитов), плагиогранитов. Родоначальные для первомайско-аюдагского комплекса расплавы внедрялись механически активно, дополнительно сминая, раздвигая и пронизывая дислоцированные породы рамы [Спиридонов и др., 1990; 2019б; 2021; 2023].

Интрузивы первомайско-аюдагского комплекса: Аю-Даг и Кушнаревский — Первомайский пересечены жерлами лавовых брекчий, субвулканическими дайками базальтов и андезитов позднебайосской островодужной бодракско-карадагской вулканической серии [Спиридонов и др., 1990; Никитин, Болотов, 2006–2007].

В процессе накопления многокилометровых терригенно-карбонатных толщ позднеюрского возраста и последующего их шарьирования [Милеев и др., 2009] допозднеюрские осадочные, вулканические толщи и интрузивные тела были погружены на глубину не менее 5–7 км, в той или иной степени тектонизированы и захвачены низкоградным метаморфизмом в условиях цеолитовой, а затем пренит-пумпеллиитовой фаций. При этом, магматические породы в различной степени были замещены агрегатами альбита, хлорита, клиноцоизита, смектитов, иддингсита, кальцита и иных карбонатов, пренита, пумпеллиита, ломонтита и иных цеолитов, лизардита, антигорита, пирита [Спиридонов, 1989; Спиридонов и др., 2023]. Окатанные обломки зеленокаменно измененных магматических пород среднеюрского возраста входят в состав конгломератов терминальной юры — раннего мела (берриас) [Муратов, 1973].

**Интрузивы первомайско-аюдагского комплекса.** Изучены интрузивы двух тектонических зон Горного Крыма. В Горнокрымской тектонической зоне интрузивы комплекса размещены в зоне Салгино-Октябрьского разлома северо-северо-западного простирания, поперечного к простиранию складчатых структур региона (Аю-Даг, ЮЗ Кастель). В Лозовской тектонической зоне, в бассейнах рек Бодрак и Салгир размещение интрузивов комплекса контролирует зона субширотного Бодракского разлома (интрузивы Лебединского, Джидайр, Донузоран, Первомайский).

**Интрузивные тела Балаклавы** обнажены в береговых обрывах под Севастополем (N 44,501174,

Е 33,514038). Серия дайкообразных и линзообразных тел СВ и ССВ простирается с поперечником до первых сотен метров сложены преимущественно плагиоферцолитами и оливиновыми габбронорит-долеритами, восточнее — преимущественно безоливиновыми габбронорит-долеритами и долеритами. [Спиридонов и др., 20196]. В центре интрузивов развиты среднезернистые, изредка средне-крупнозернистые плагиоферцолиты с обильными псевдоморфозами серпентина по оливину с вкрапленностью хромшпинелидов, псевдоморфозами серпентина по ромбопироксену, авгитом, армоколлитом, плагиоклазом от анортита до лабрадора, магнелиальным ильменитом. Эти породы ранее были описаны как пикриты [Плошко и др., 1979]. Эндоконтактовые зоны обычно сложены мелкозернистыми оливиновыми габбронорит-долеритами. Интрузивы сильно тектонизированы, их контакты сорваны, породы брекчированы и интенсивно серпентинизированы. Вмещают интрузивы Балаклары подушечные лавы базальтов байоса [Лебединский, Шалимов, 1967].

**Интрузив ЮЗ склона г. Кастель** протягивается вдоль западного склона горы Кастель, местами соприкасаясь с более молодым интрузивом фаялитовых плагиогранитов. В центре (N 44,635465, E 34,380855) интрузив сложен среднезернистыми габбронорит-долеритами, краевые зоны — мелкозернистыми габброидами. Интрузив прорвал и контактово метаморфизовал сложно дислоцированный флиш таврической серии. В составе интрузивных пород — плагиоклаз от анортита до андезина, авгит, бронзит, гиперстен, реликтовый хромшпинелид, титаномагнетит, ильменит, апатит и типичные для комплекса редкие акцессории — бадделеит, цирконолит, чевкинит.

**Интрузив Аю-Даг** (N 44,557147, E 34,335593) — самый крупный интрузив первомайско-аюдагского комплекса с поперечником 3×2 км. Имеет многокупольную вытянутую форму, сложное строение. Интрузив сложен среднезернистыми, средне-крупнозернистыми, реже пегматоидными и порфириформными средне-мелкозернистыми кварцевыми и кварц-содержащими габбронорит-долеритами, кварцевыми габбронорит-диоритами и кварцевыми диоритами с шширами и жилами гранодиоритов, плагиогранитов и гранофировых гранитов; для габброидов Аю-Дага характерны такситовые, нередко полосчатые текстуры и складки магматического течения, светлые полосы слагают анортит и битовнит, темные обогащены пироксенами и титаномагнетитом (рис. 1, а-в) [Кравченко, 1958; Лебединский, Шалимов, 1967; Спиридонов и др., 1990–2023]. Породы слагают плагиоклаз от анортита до олигоклаза, авгит, бронзит, пижонит, гиперстен, ферроавгит, феррошиперстен, паргасит и эденит (редкие), биотит, кварц, титаномагнетит, ильменит, апатит, акцессорные бадделеит, цирконолит, чевкинит-Се, перрьерит-Се, алланит-Се, циркон, торит [Спиридонов и др., 2018; 2019в; 2022].

Аюдагский интрузив окружен ореолом контактового метаморфизма шириной 5–10 м. Его образуют узловатые сланцы и роговики актинолит-роговиковой фации; роговики с биотитом, андалузитом, турмалином, магнетитом амфибол-роговиковой фации, роговики с силлиманитом — пироксен-роговиковой фации [Кравченко, 1958].

**Шток Донузоран** размером около 30×30 м залегает среди терригенного флиша таврической серии в верховьях одноименного оврага (N 44,753208, E 34,020270). Порфириформные мелкозернистые габбронорит-долериты слагают зональный плагиоклаз от анортита до олигоклаза, псевдоморфозы серпентина по оливину с массой включений хромшпинелидов, реликты авгита и ромбопироксена, биотит, кварц, армоколлит, титаномагнетит, ильменит, апатит и иные акцессорные минералы.

**Силлообразный интрузив Лебединского** (это так называемый силл Лебединского) и сходные с ним расположены в 5 км выше по течению р. Бодрак от пос. Трудолюбовка (N 44,752948, E 34,051047). Обнаружено три интрузива, субсогласных напластованию на крыле крупной круто залегающей складки флишевой толщи. Мощность тел составляет 4–7 м, длина — 1500–2000 м, мощность зон закалки до 1 м. Тонко- и мелкозернистые габбро-долериты эндоконтакта содержат миндалины с кальцитом и иными метаморфогенными минералами. Центральные части тел слагают среднезернистые массивные оливиновые габбронорит-долериты. В том месте, где река Бодрак течет поперек интрузива Лебединского, интрузив пересекает ороговикованный флиш таврической серии перпендикулярно слоистости, наблюдаются и апофизы габбро-долеритов мощностью до 20 см во вмещающие породы. Около этих тел аргиллиты таврической серии заметно контактово метаморфизованы [Латышев, Панов, 2007].

В центре силлообразного интрузива Лебединского среди преобладающих оливиновых габбронорит-долеритов развиты участки оливинсодержащих, кварцсодержащих и кварцевых габбронорит долеритов. Кварцевые габбронорит-долериты содержат заметное количество биотита и алланита-Се. Эти горные породы слагают плагиоклаз от анортита — битовнита до олигоклаза, псевдоморфозы серпентина по оливину с включениями хромшпинелидов, псевдоморфозы серпентина по ромбопироксену, авгит, биотит, кварц, армоколлит, титаномагнетит, ильменит, апатит, бадделеит.

**Джидайский интрузив** — удлинённый шток размером 2,3×0,05–0,4 км, расположенный в бассейне одноименного оврага (N 44,782461, E 34,000265) сложен оливинсодержащими, кварцсодержащими и кварцевыми габбронорит-долеритами. В центре интрузива развиты средне-крупнозернистые породы. Породы эндоконтактовых зон, мощность которых достигает 15 м, — порфириформные мелкозернистые, нередко миндалекаменные. Породы слагает плагиоклаз от битовнита до олигоклаза,

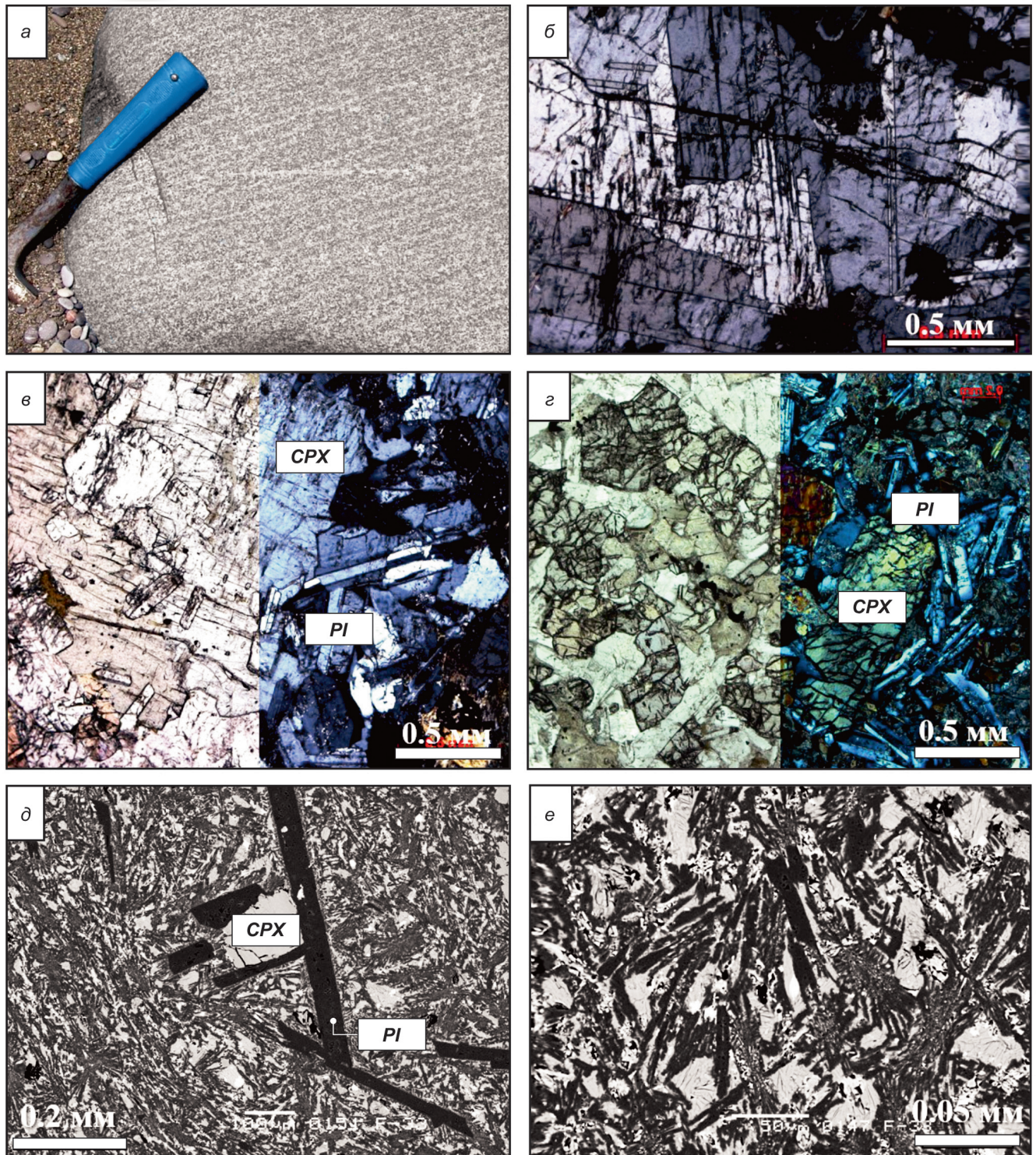


Рис. 1. Породы первомайско-аюдагского комплекса. *a* — габбронорит-долериты интрузива Аю-Даг с полосчатыми текстурами течения. Обнажение, светлые полосы обогащены плагиоклазом, темные — пироксенами и титаномagnetитом; *b* — прослой анортозитового состава в габбронорит-долеритах интрузива Аю-Даг — срастание кристаллов битовнита. Шлиф в проходящем свете, николи X; *в* — габбронорит-долериты интрузива Аю-Даг с пойкилофитовой структурой. В проходящем свете, слева — при 1 никеле, справа — николи X; *г* — оливковые габбронорит-долериты интрузива Лебединского. В проходящем свете, слева — при 1 никеле, справа — николи X. CPX — пироксены, Pl — плагиоклаз; *д*, *e* — эффузивоподобные резко порфировидные микрогаббронорит-долериты с вкрапленниками длиннопризматического лабрадора и авгита (CPX). Удлиненные лейсты плагиоклаза частью расщеплены. Нижний эндоконтакт Ферсмановского (Лозовского) интрузива. В отраженных электронах

псевдоморфозы серпентина по оливину и ромбопироксену, авгит, кварц, титаномagnetит, ильменит, апатит и иные акцессории. Таблитчатые кристаллы

лабрадора и андезина нередко образуют текстуры течения. Вмещающие породы — терригенный флиш эскиордынской серии.

**Первомайский (Кушнаревский) интрузив.**

Этот шток размером около 400×100 м расположен в верховьях Кушнаревской балки (N 44,779564, E 34,027949). Внедрился в зону Бодракского разлома. Интрузив в нижней части сложен преимущественно мелкозернистыми бескварцевыми (с единичными кристаллами оливина), кварцсодержащими и кварцевыми габбронорит-долеритами, выше — мелкозернистыми кварцевыми габбронорит-диоритами и кварцевыми диоритами с заметным количеством биотита и множеством шлиров плагиогранитного состава с поперечником от первых мм до 15–25 см. В средней части интрузива известны вертикальные жилы плагиогранитов мощностью до 15 см с неровными «горячими» контактами. Верхняя часть интрузива сложена мелко- и среднезернистыми роговообманково-биотитовыми плагиогранитами. Мощность ороговикованных терригенных пород эскиординской серии до 10 м. С ними контактируют порфириовидные микрогаббро-долериты.

Великолепная эпигенетическая метаморфогенная минерализация развита преимущественно в шлирах плагиогранитов среди габброидов; в ее составе — пренит, пумпеллит, ломонтит, анальцит и иные цеолиты, апофиллит, актинолит, дадолит, пирит и множество других метаморфогенно-гидротермальных образований.

Верхняя выветрелая часть интрузива служит основанием кораллового рифа раннемелового возраста (валанжин-готтерив) [Муратов, 1973; Никитин, Болотов, 2006].

**Материалы и методы исследования.** Изучена обширная коллекция пород первомайско-аюдагского комплекса Горного Крыма — плагиоцеролиты интрузива Балаклавы; оливиновые габбронорит-долериты Лебединского, Донузоран, Уртопай, Джидайрского и Балаклавы; бескварцевые и кварцевые габбронорит-долериты интрузивов Аю-Даг, Партенит, Лебединского, ЮЗ Кастели, Ферсмановского (Лозовского), Донузоран, Джидайрского, Первомайского; бескварцевые и кварцевые габбронорит-диориты интрузивов Аю-Даг, Джидайрского, Первомайского; кварцевые диориты и плагиограниты интрузива Первомайского, которую собрали Э.М. Спиридонов, Е.С. Семиколенных, Г.Н. Овсянников, С.В. Филимонов, Е.В. Путинцева, В.И. Лысенко, Арк.В. Тевелев, И.В. Шалимов.

Наши наблюдения показали, что уже при слабом проявлении регионально низкоградного метаморфизма в плагиоклазе заметно снижается содержание калия и существенно снижается содержание стронция и бария. Поскольку в Горном Крыму низкоградный метаморфизм в условиях цеолитовой и пренит-пумпеллитовой фаций проявлен повсеместно и интенсивно [Спиридонов, 1989], при изучении магматических пород был проведен поиск наименее метаморфизованных образцов и для плагиоклаза мы ограничились анализом на основные химические элементы. Состав плагиоклаза определен в лабора-

тории локальных методов исследования вещества геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (аналитик-исследователь Н.Н. Коротаева). Количественный анализ выполнен с помощью электронного микроскопа с энергодисперсионным спектрометром Oxford Instruments X-Max<sup>N</sup>. Анализ выполнен в режиме сфокусированного зонда, ускоряющее напряжение 20 кВ, сила тока 0,7 нА, время экспозиции 100 с. Используются стандарты USNM-133868, USNM-143966, USNM-746, USNM-164905 Национального института стандартов США [Jarosewich et al., 1980]. Получены многочисленные изображения в режиме отраженных электронов и более 200 полных анализов плагиоклаза. Из них отобрано 128 наиболее качественных анализов (анортит — 8, битовнит — 54, лабрадор — 29, андезин — 28, олигоклаз — 9), которые характеризуют вариации состава плагиоклаза в породах семи типичных интрузивах комплекса: Аю-Даг — 53 анализа, Первомайский — 15, Лебединского — 21, Донузоран — 16, ЮЗ Кастели — 13, Джидайрский — 7, Балаклава — 5. Пересчет на формулы выполнен на 32 атома кислорода, количества Fe<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup> рассчитаны по балансу зарядов. 28 представительных анализов плагиоклаза даны в табл. 1–5.

**Плагиоклаз горных пород островадужного первомайско-аюдагского интрузивного комплекса.** Горные породы комплекса сложены семью минеральными ассоциациями, которые в целом отвечают петрогенетической схеме Н.Л. Боуэна [Спиридонов и др., 2022].

Первую минеральную ассоциацию образуют кумулятивные **Mg оливин и алюмомагнезиохромит** [Спиридонов и др., 2019, 2023]. Минеральные ассоциации от 2 до 7 включают плагиоклаз и рассмотрены ниже. Подробное описание пород первомайско-аюдагского комплекса приведено в [Спиридонов и др., 2023]

**Анортит.** Анортит совместно с оливином, хромшпинелидами (алюмохромит до хромтитаномагнетита и Zn хромульвошпинели), магниезиальным бронзитом и эндиопсидом образуют *вторую минеральную ассоциацию* [Спиридонов и др., 1989, 2019, 2023]. Анортит слагает центральные части крупных кристаллов плагиоклаза — до 12 мм в пегматоидных габброидах (рис. 2–3). Удлинение его призматических кристаллов от 2 до 5, обычно 3–4. Состав варьирует незначительно. Наиболее кальциевый анортит развит в плагиоцеролитах Балаклавы — An<sub>94–91</sub>. Оливиновые габбронорит-долериты Донузорана содержат An<sub>92–91</sub>. Состав анортита габбронорит-долеритов Аю-Дага, Партенита и ЮЗ Кастели, в которых оливин растворен, но сохранились реликты хромшпинелида, — An<sub>91–90</sub>, (табл. 1; рис. 2–3). Зональность в кристаллах анортита обычно выражена слабо. Более отчетливо она проявлена во вкрапленниках анортита в габброидах Кастели (рис. 2, б).

**Битовнит** совместно с магниезиальным авгитом, бронзитом, пижонитом, армоколлитом, апатитом,

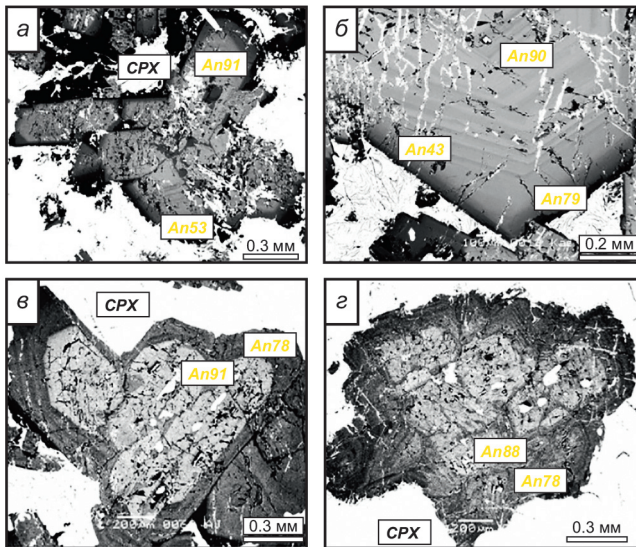


Рис. 2. *а* — анортит An91-90 (табл. 1, ан. 3 и 5) в ядрах крупных кристаллов плагиоклаза с четко выраженной оторочкой ритмично зонального битовнита An78-73 (серый) с каймами лабрадора An67-53 (черный) среди крупных выделений пироксенов (срх, белые). Вверху на анортит вместе с битовнитом вырос апатит (ар, белый). Габбронорит-долериты центра интрузива Аю-Даг; *б* — вкрапленник анортита An90 с каймой битовнита An79, лабрадора, андезина An43. Ксеноморфные пироксены (белые). Габбронорит-долериты с офитовой структурой. Интрузив ЮЗ Кастель. В анортите просечки и гнезда метаморфогенного клиноцоизита (czo, светлые); *в*, *з* — анортит An91 (табл. 1, ан. 1 и 2) с включениями магнезиального бронзита и эндиопсида (светлые), с резко выраженной оторочкой ритмично зонального битовнита An79-73 (серый) с каймами лабрадора An69-58 (черный) среди крупных выделений пироксенов (белые). Габбронорит-долериты центра интрузива Аю-Даг. Желтые цифры — состав плагиоклаза An мол. %. В отраженных электронах

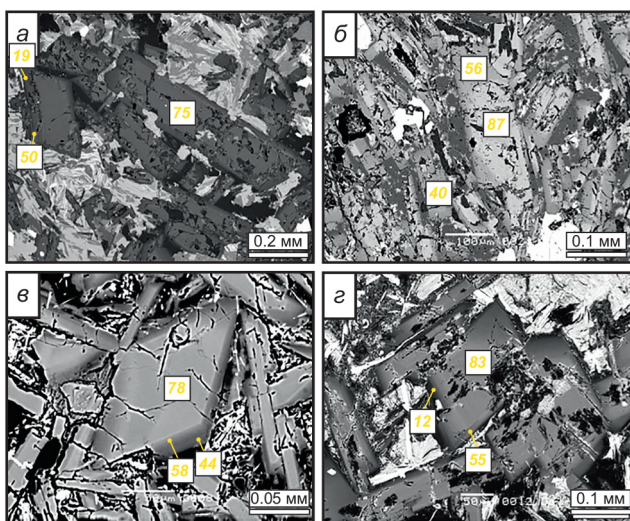


Рис. 3. Битовнит: *а*, *в* — кристаллы битовнита с каймами лабрадора и андезина. Кварцевые габбронорит-долериты Первомайского интрузива. *б*, *з* — таблицы битовнита с каймами лабрадора, андезина, олигоклаза. Оливиновые габбронорит-долериты интрузивов Джидайр (*б*) (табл. 2, ан. 10) и Донузоран (*з*). В отраженных электронах. Цифры — состав плагиоклаза An мол. %

Таблица 1

### Химический состав (масс.%) анортита габброидов интрузива Аю-Даг

Компоненты	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	44,55	45,06	44,87	44,70	45,41
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34,68	37,60	34,69	34,70	37,25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,57	0,55	0,71	0,48	0,48
CaO	18,48	18,59	18,36	18,28	18,32
Na <sub>2</sub> O	0,92	0,98	1,02	1,09	1,09
K <sub>2</sub> O	0,06	0,04	0,05	нпо	0,04
сумма	99,26	102,82	99,70	99,25	102,59
Число атомов в формуле					
Si	8,28	8,07	8,30	8,30	8,15
Al	7,60	7,93	7,57	7,59	7,87
Fe <sup>3+</sup>	0,09	0,08	0,11	0,08	0,07
сумма	15,97	16,08	15,98	15,97	16,09
Ca	3,69	3,57	3,64	3,64	3,52
Na	0,33	0,34	0,37	0,39	0,38
K	0,01	0,01	0,01	–	0,01
сумма	4,03	3,92	4,02	4,03	3,91
O	32				
An, мол.%	91,6	91,1	90,5	90,3	90,1
Ab, мол.%	8,2	8,7	9,2	9,7	9,7
Or, мол.%	0,2	0,2	0,3	–	0,2

Примечание. Здесь и далее количество Fe<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup> рассчитано по баланс зарядов. нпо — ниже предела обнаружения.

пирротинном образуют *третью минеральную ассоциацию*. Минеральные агрегаты третьей ассоциации образуют большую часть объема множества интрузивов первомайско-аюдагского комплекса. Часть битовнита развита в виде оторочек на кристаллах анортита (рис. 2), большая часть слагает обособленные кристаллы (рис. 1, б) и ядра зональных кристаллов (рис. 3); в породах эндоконтакта — мелкие таблитчатые кристаллы.

Рисунок зональности ряда кристаллов битовнита резко отличен от рисунка зональности кристаллов анортита. На кристаллах битовнита отсутствуют следы растворения в магматических условиях. Вероятно, формирование битовнита произошло в условиях, существенно отличных от условий кристаллизации анортита.

Удлинение кристаллов битовнита от 2 до 5,5, обычно составляет 3–4. Высоко кальциевый битовнит развит в плагиолерцолитах Балаклавы — An<sub>89–83</sub> и в оливиновых габбронорит-долеритах интрузивов Донузоран An<sub>89–79</sub>, Джидайрский An<sub>89–78</sub>, Лебединский An<sub>88–80</sub>. Не столь высоко кальциевый битовнит развит в бескварцевых и кварцсодержащих габбронорит-долеритах Аю-Дага — Партенита An<sub>84–73</sub>, Первомайского (Кушнарёвского) — An<sub>84–74</sub>, Фермановского (Лозовского, южных Курцов) — An<sub>81–79</sub>, ЮЗ Кастели — An<sub>79</sub>.

Таблица 2

Химический состав (масс.%) битовнита габбронорит-долеритов интрузивов: ЮЗ Кастели (ан. 6), Первомайского (ан. 7), Донузоран (ан. 8), Лебединского (ан. 9), Джидайрского (ан. 10), Аю-Даг (ан. 11)

Компоненты	6	7	8	9	10	11
SiO <sub>2</sub>	45,21	46,56	47,53	47,47	47,43	48,53
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34,31	33,03	34,98	32,82	32,55	31,77
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,61	0,65	0,66	0,75	0,86	0,69
CaO	17,93	16,86	16,39	16,56	16,04	15,18
Na <sub>2</sub> O	1,19	1,74	2,06	2,11	2,26	2,89
K <sub>2</sub> O	нпо	0,10	0,09	0,09	0,09	0,07
сумма	99,25	98,94	101,71	99,8	99,23	99,13
Число атомов в формуле						
Si	8,40	8,65	8,56	8,73	8,77	8,94
Al	7,51	7,24	7,43	7,12	7,09	6,90
Fe <sup>3+</sup>	0,09	0,10	0,10	0,11	0,13	0,11
сумма	16,00	15,99	16,09	15,96	15,99	15,95
Ca	3,57	3,36	3,17	3,26	3,18	3,00
Na	0,43	0,63	0,72	0,76	0,81	1,03
K	–	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
сумма	4,00	4,01	3,91	4,04	4,01	4,05
O	32					
Ап, мол.%	89,3	83,8	81,1	80,7	79,3	74,1
Аб, мол.%	10,7	15,6	18,4	18,8	20,2	25,5
Ог, мол.%	–	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4

Химический состав битовнита дан в табл. 2. Судя по результатам пересчета, Fe в составе битовнита (табл. 2) и анортита (табл. 1) крымских габброидов — трехвалентное.

**Лабрадор** совместно с железистым авгитом, гиперстеном, магнизиальным ильменитом, титаномagnetитом, апатитом, чевкинитом (Ce), бадделейтом, цирконолитом, халькопиритом слагает четвертую минеральную ассоциацию [Спиридонов и др., 2018, 2019в]. Агрегаты минералов 4 ассоциации слагают значительную часть объема множества интрузивов первомайско-аюдагского комплекса.

Лабрадор распространен довольно широко, формирует каймы на кристаллах битовнита, слагает отдельные кристаллы, лейсты лабрадора «обтекают» вкраплиники авгита и срastaются с его внешними зонами; лабрадор иногда содержит вростки апатита (рис. 2, а; 4). Удлинение кристаллов 2,5–5, обычно около 3–4. Высоко кальциевый лабрадор развит в габбронорит-долеритах интрузивов Джидайрский An<sub>69–52</sub>, Лебединский An<sub>66–51</sub>, ЮЗ Кастели An<sub>64–57</sub>; умеренно кальциевый — в габброидах Первомайского An<sub>60–51</sub> и Аю-Дага An<sub>59–52</sub>; низко кальциевый — в габброидах Донузорана An<sub>55–51</sub> (табл. 3). Содержание калия невелико, но заметно выше, чем в анортите и битовните. Как следует из пересчетов анализов лабрадора, вероятная валентность железа

Таблица 3

Химический состав (масс.%) лабрадора габброидов интрузивов: Аю-Даг (ан. 12), ЮЗ Кастели (ан. 13), Лебединского (ан. 14), Первомайского (ан. 15), Балаклавы (ан. 16), Джидайрского (ан. 17)

Компоненты	12	13	14	15	16	17
SiO <sub>2</sub>	50,6	52,18	53,01	53,22	53,87	54,72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,1	29,47	29,58	28,63	27,46	27,75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,91	0,58	0,41	0,04	0,65	0,53
FeO	–	0,13	0,16	0,58	0,33	0,25
CaO	14,04	12,58	11,68	11,49	10,59	10,61
Na <sub>2</sub> O	3,45	4,25	4,55	4,60	5,09	5,21
K <sub>2</sub> O	0,16	0,10	0,28	0,30	0,31	0,37
сумма	100,26	99,29	99,67	98,86	98,29	99,44
Число атомов в формуле						
Si	9,21	9,55	9,63	9,76	9,92	9,95
Al	6,67	6,35	6,34	6,18	5,96	5,95
Fe <sup>3+</sup>	0,13	0,08	0,06	0,01	0,09	0,07
сумма	16,01	15,98	16,03	15,95	15,97	15,97
Ca	2,74	2,47	2,28	2,26	2,09	2,06
Fe <sup>2+</sup>	–	0,02	0,02	0,09	0,05	0,04
Na	1,21	1,51	1,60	1,63	1,82	1,85
K	0,04	0,02	0,07	0,07	0,07	0,08
сумма	3,99	4,02	3,97	4,05	4,03	4,03
O	32					
Ап, мол.%	68,6	61,7	57,7	57,0	52,5	51,8
Аб, мол.%	30,5	37,7	40,7	41,3	45,7	46,0
Ог, мол.%	0,9	0,6	1,6	1,8	1,8	2,2

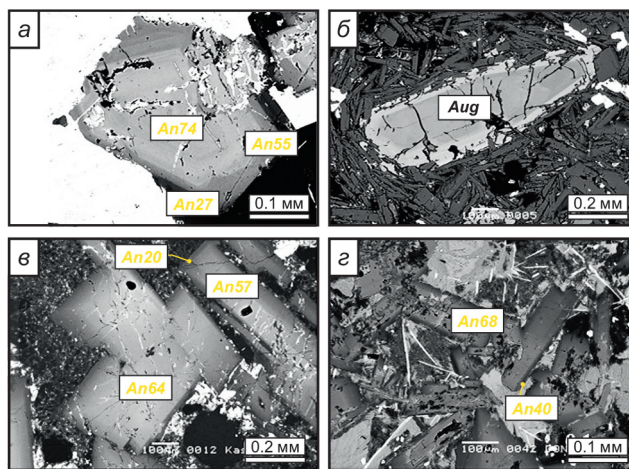


Рис. 4. Лабрадор: а — каймы лабрадора и андезина на кристаллах битовнита. Кварцевые габбронорит-долериты Аю-Дага, б — лейсты лабрадора обтекают вкраплиник авгита (Aug). Габбронорит-долериты Первомайского, в — срastание таблиц лабрадора с каймами андезина и олигоклаза. Габбронорит-долериты ЮЗ Кастели, г — таблицы лабрадора с каймами андезина. Оливиновые габбронорит-долериты Донузорана. Игольчатые кристаллы апатита (белые). В отраженных электронах. Цифры — состав плагиоклаза Ап мол. %

Таблица 4

Химический состав (масс.%) андезина кварцевых габброидов интрузивов: Лебединского (ан. 18), Джидайрского (ан. 19), Балаклары (ан. 20), Первомайского (ан. 21), ЮЗ Кастели (ан. 22), Аю-Даг (ан. 23)

Компоненты	18	19	20	21	22	23
SiO <sub>2</sub>	55,46	56,08	56,07	56,69	55,83	59,06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27,59	26,79	26,30	26,77	26,21	25,74
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,46	–	–	–	0,37	–
FeO	–	0,57	0,70	0,39	0,09	0,30
CaO	10,29	9,34	9,11	9,07	8,75	7,75
Na <sub>2</sub> O	5,58	5,85	5,9	5,88	6,22	6,92
K <sub>2</sub> O	0,33	0,33	0,33	0,60	0,20	0,29
сумма	99,71	98,96	98,41	99,40	97,67	100,06
Число атомов в формуле						
Si	10,03	10,20	10,26	10,27	10,27	10,57
Al	5,88	5,75	5,68	5,71	5,68	5,43
Fe <sup>3+</sup>	0,07	–	–	–	0,05	–
сумма	15,98	15,95	15,94	15,98	16,00	16,00
Ca	1,99	1,83	1,78	1,76	1,72	1,48
Fe <sup>2+</sup>	–	0,08	0,11	0,06	0,01	0,95
Na	1,95	2,06	2,09	2,06	2,22	2,40
K	0,08	0,08	0,08	0,14	0,05	0,07
сумма	4,02	4,05	4,06	4,02	4,00	4,00
O	32					
Ап, мол.%	49,5	46,0	45,1	44,4	43,2	37,6
Аб, мол.%	48,6	52,1	52,8	52,1	55,6	60,7
Ог, мол.%	1,9	1,9	1,9	3,5	1,2	1,7

в его составе Fe<sup>3+</sup> и Fe<sup>2+</sup>. Это коррелируется с обилием титаномагнетита в 4 минеральной ассоциации.

**Андезин** совместно с титаномагнетитом, ферроавгитом, эденитом, ильменитом и апатитом составляет пятую минеральную ассоциацию. Минеральные агрегаты пятой ассоциации занимают незначительную часть объема множества интрузивов первомайско-аюдагского комплекса. Широко распространены узкие каймы андезина вокруг кристаллов более кальциевого плагиоклаза и единичные мелкие кристаллы андезина в бескварцевых и кварцевых габбронорит-долеритах (рис. 2, б; 3; 4, г). Небольшие зональные кристаллы андезина слагают основную ткань кварцсодержащих и кварцевых габбронорит-диоритов и кварцевых диоритов интрузива Первомайского, где образуют текстуры течения. Удлинение кристаллов андезина от 2–2,5 (рис. 5) до 3–4.

Наиболее кальциевый андезин развит в габброидах интрузивов Джидайрский — An<sub>49–40</sub>, Первомайский — An<sub>49–33</sub>, Аю-Даг — An<sub>48–33</sub>, ЮЗ Кастель — An<sub>43</sub>; умеренно кальциевый — в габброидах интрузивов Лебединского — An<sub>44–30</sub> и Донузوران — An<sub>40</sub>.

Содержание калия в андезине невелико, но заметно выше, чем в лабрадоре (табл. 4). Как следует из пересчетов анализов, вероятная валентность железа в андезине Fe<sup>3+</sup> и чаще Fe<sup>2+</sup>, что коррелируется с на-

Таблица 5

Химический состав (масс.%) олигоклаза кварцевых габброидов Аю-Дага (ан. 24 и 27) и ЮЗ Кастели (ан. 25 и 28), плагиогранитов интрузива Первомайский (ан. 26)

Компоненты	24	25	26	27	28
SiO <sub>2</sub>	61,33	61,51	64,07	64,32	65,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,39	23,10	23,94	22,23	21,75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	нпо	–	0,30	–	–
FeO	нпо	0,26	–	0,21	0,22
CaO	5,68	5,09	4,12	3,47	2,77
Na <sub>2</sub> O	8,19	8,27	8,98	8,77	9,18
K <sub>2</sub> O	0,32	0,51	0,79	0,99	1,39
сумма	99,91	98,74	102,20	99,99	100,91
Число атомов в формуле					
Si	10,91	11,07	11,11	11,42	11,51
Al	5,11	4,90	4,89	4,65	4,50
Fe <sup>3+</sup>	–	–	0,04	–	–
сумма	16,02	15,97	16,04	16,07	16,01
Ca	1,08	0,98	0,76	0,66	0,52
Fe <sup>2+</sup>	–	0,04	–	0,03	0,03
Na	2,83	2,89	3,02	3,02	3,13
K	0,07	0,12	0,18	0,22	0,31
сумма	3,98	4,03	3,96	3,93	3,99
O	32				
Ап, мол.%	27,2	24,6	19,3	16,9	13,2
Аб, мол.%	71,0	72,4	76,3	77,3	79,0
Ог, мол.%	1,8	2,9	4,4	5,7	7,9

личием богатых Fe<sup>2+</sup> пироксенов в 5 минеральной ассоциации.

**Олигоклаз** вместе с кварцем, биотитом, алланитом-(Се), цирконом, апатитом образует шестую минеральную ассоциацию горных пород первомайско-аюдагского комплекса, широко развитую в верхней части Первомайского интрузива. Олигоклаз формирует внешние тонкие каймы кристаллов плагиоклаза в кварцсодержащих породах и коротко призматические кристаллы в кварцевых диоритах и плагиогранитах Первомайского интрузива. Наиболее кальциевый олигоклаз развит в кварцевых габброидах и габбронорит-диоритах интрузивов Первомайский — An<sub>28–18</sub> и Аю-Даг — An<sub>27–14</sub>; менее кальциевый в габброидах интрузивов Лебединского — An<sub>22</sub> и ЮЗ Кастели — An<sub>20</sub>.

Олигоклаз содержит заметное количество калия (табл. 5). Как следует из пересчетов анализов, вероятная валентность железа в олигоклазе Fe<sup>3+</sup> и чаще — Fe<sup>2+</sup>, что коррелируется с наличием высокожелезистого биотита в шестой минеральной ассоциации.

**Альбит-олигоклаз и натровый олигоклаз** вместе с кварцем, железистым биотитом до аннита, аксессуарными фторопатитом, алланитом-(Се), цирконом, К-На полевым шпатом образуют наиболее позднюю — седьмую минеральную ассоциацию по-

род первомайско-аюдагского комплекса. Нередко это графические кварц-полевошпатовые сростания в промежутках кристаллов плагиоклаза, пироксенов, титаномагнетита (рис. 5). Графические сростания распространены в габброидах Аю-Дага и Партенита, в плагиогранитоидах Первомайского.

**Обсуждение результатов.** Особенность различных дифференциатов островодужного первомайско-аюдагского комплекса Горного Крыма — обилие анортита и битовнита — впервые установил С.М. Кравченко [1958]. Это характернейшая особенность островодужных магматических пород [Волынец, Колосков, 1976; Волынец и др., 1978; Кумеев, 1982; Almeev et al., 2013; Давыдова и др., 2018; Спиридонов и др., 2019а и мн. др.]. Как известно, островодужные магмы возникают при повышенном  $P_{H_2O}$ , которое понижает температуру кристаллизации анортита с 1600 °С в сухой системе до 1250–1300 °С при  $P_{H_2O} = 5$  кб [Yoder et al., 1956–1957; Housh, Luhr, 1991]. Вероятно, это — основная причина обилия высоко кальциевого плагиоклаза в островодужных магматических породах.

Эволюцию состава плагиоклаза пород первомайско-аюдагского комплекса иллюстрирует рис. 6. На диаграммах приведены данные для 128 кристаллов свежих пород и 10 кристаллов плагиоклаза пород, низкоградно метаморфизованных.

Рисунок 6, а иллюстрирует известный тренд накопления калия в более натровом плагиоклазе. Но уровни накопления различаются в различных магматических формациях. В трондьемитах и плагиогранитах океанской стадии развития складчатых областей содержание калия в альбит-олигоклазе и натровом олигоклазе обычно менее 0,5 масс.%  $K_2O$ . В олигоклазе изученной островодужной формации мезозойд Горного Крыма до 1,4 масс.%  $K_2O$ , что почти аналогично молодым островодужным магматическим породам Камчатки [Волынец, Колосков, 1976; Давыдова и др., 2018].

Рисунок 6, б иллюстрирует вариации содержания железа в плагиоклазе первомайско-аюдагского комплекса. Для всех интрузивных тел первомайско-аюдагского комплекса (кроме самого крупного — Аю-Дага) характерны повышенные содержания железа в наиболее кальциевом плагиоклазе. Для интрузива Аю-даг установлен рост содержания железа от анортита  $An_{92}$  к битовниту  $An_{70}$ , возможная причина приведена далее. В более кремнекислых породах Аю-Дага содержание железа в плагиоклазе падает при снижении кальциевости, как и в иных интрузивах комплекса.

Вхождение железа в состав плагиоклаза — процесс, контролируемый температурой и составом расплава, давлением флюида в системе, изоморфизмом, наличием иных железосодержащих фаз. В плагиоклазе первомайско-аюдагского комплекса наблюдается характерная для толеитовых пород особенность: смена валентной формы железа — снижение содержания  $Fe^{3+}$  и повышение содержания  $Fe^{2+}$  со

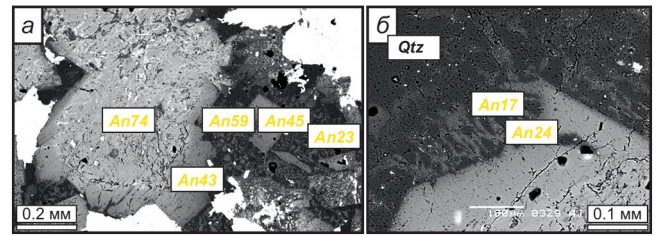


Рис. 5. Графические кварц-олигоклазовые сростания в промежутках кристаллов битовнита, лабрадора, андезина и пироксенов; справа — около скелетного кристалла андезина с тонкой каймой олигоклаза. Qtz — кварц. Порфириовидные кварцевые габбронорит-диориты интрузива Партенит. В отраженных электронах. Цифры — состав плагиоклаза An мол. %

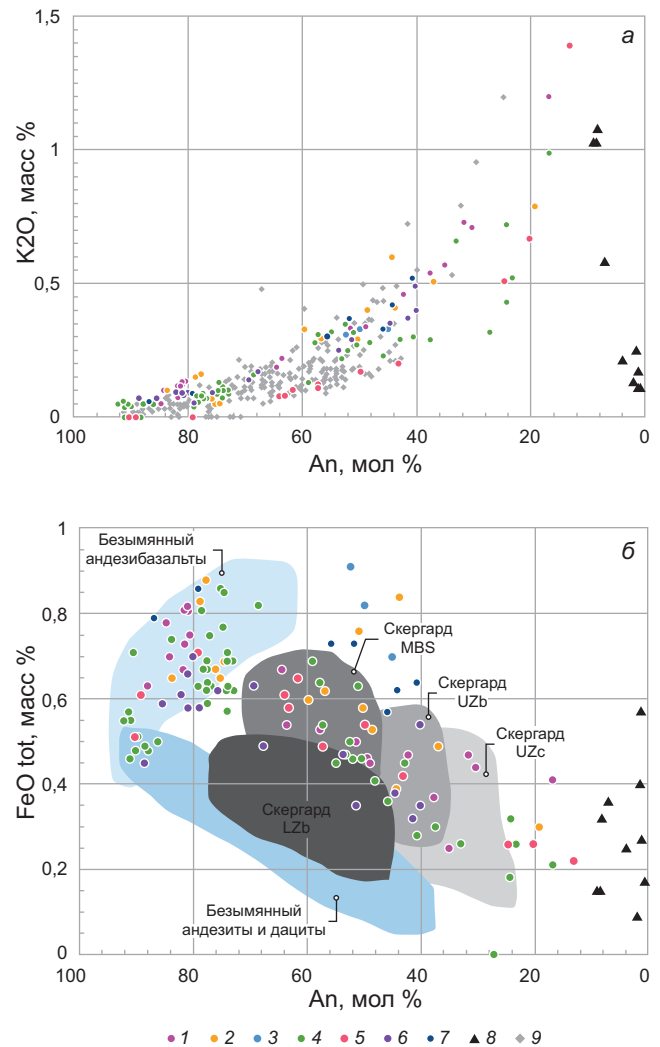


Рис. 6. Диаграмма состава плагиоклаза пород первомайско-аюдагского интрузивного комплекса в координатах: а — содержание анортита (мол. %) — содержание калия (масс. %). б — содержание анортита (мол. %) — содержание железа (масс. %). Плагиоклаз интрузивов: 1 — Лебединского, 2 — Первомайского (Кушнаревского) 3 — Балаклавы, 4 — Аю-Даг, 5 — ЮЗ Кастели, 6 — Донузоран, 7 — Джидайр, 8 — плагиоклаз низкоградно метаморфизованных пород (данные авторов). 9 — плагиоклаз островодужных пород вулкана Безымянный, Ключевской, Шивелуч, Плоские сопки, Камень [Давыдова и др., 2018, Almeev et al., 2013]. Поля составов плагиоклаза для пород вулкана Безымянный по [Almeev et al., 2013], для пород интрузива Скергард по [Humphreys, 2011]

снижением кальциевости. Но авторы статьи [Lundgaard, Tegner, 2004] свидетельствуют, что данный фактор имеет второстепенное значение в сравнении с температурой и составом расплава. Тем самым, по распределению и характеру эволюции железа в составе плагиоклаза нельзя судить о формационной принадлежности магматических пород. Например, андезибазальты Безымянного вулкана [Almeev et al., 2013] (известково-щелочная островодужная серия) эволюционируют преимущественно с увеличением содержания железа в составе плагиоклаза, тогда как другие породы центра (более кремнекислые) — с уменьшением (см. рис. 6, б). В расслоенном интрузиве Скергард (внутриплитные толеиты) для каждого элемента расслоенной серии характерна своя эволюция содержаний железа в плагиоклазе [Humphreys, 2011] (рис. 6, б): плагиоклазы зоны LZb лежат в области плагиоклазов Безымянного вулкана, а плагиоклазы UZc и UZb частично перекрывают область Безымянного вулкана и первомайско-аюдагского комплекса. Авторы [Lundgaard, Tegner, 2004] отмечают, что содержание железа в плагиоклазе крупных толеитовых интрузивов (Скергард, Стилутер, Бушвельд), как правило, не превышает 0,5 масс.%, тогда как для их эффузивных аналогов и известково-щелочных островодужных пород этот показатель нередко выше 0,5 масс.%. Наше исследование подтверждает это наблюдение. Повышенные содержания железа также установлены в богатом анортитом плагиоклазе пород Луны [Фрондел, 1968] и островодужных вулканитах Камчатки [Волынец, Колосков, 1976; Леснов и др., 1978; Almeev et al., 2013].

**Заключение.** Состав плагиоклаза раннебайосского первомайско-аюдагского интрузивного комплекса — островодужной плагиоцерцолит — габронорит-долерит — габронорит-диорит — кварцеводиорит — плагиогранитной формации Горного Крыма варьирует от  $An_{92}$  до  $An_{14}$ . Характерная особенность — обилие анортита  $An_{92-90}$  и битовнита  $An_{89-73}$ , которых нет только в кварцевых диоритах и плагиогранитах. Установлено соответствие выявленных особенностей плагиоклаза крымских пород тем закономерностям, которые присущи четвертичным островодужным вулканитам Камчатки. Это дополнительный аргумент в пользу островодужной

природы изученных крымских магматических пород.

В изученных породах от анортита к олигоклазу содержание калия растет по экспоненте от 0,05 до 1,4 масс.%,  $K_2O$ . Это общеизвестная зависимость для магматического плагиоклаза [Yoder et al., 1956–1957]. Конкретно такой уровень содержания калия характерен для островодужных магматических пород, в океанических толеитах — он ниже, в магматитах повышенной щелочности — значительно выше [Волынец, Колосков, 1976; Волынец и др., 1978; Кумеев, 1982; Давыдова и др., 2018; Спиридонов и др., 2019a].

Для всей серии пород первомайско-аюдагского комплекса от плагиоцерцолитов до плагиогранитов содержание железа выше в более кальциевом плагиоклазе — до 0,9–1,0 масс.%  $FeO_{tot}$ . В интрузиве Аю-Даг эволюция содержания железа в плагиоклазе более сложная; возможно, это обусловлено потерей железа анортитом и битовнитом при отжиге в этом наиболее крупном интрузиве комплекса. Пересчет прецизионных анализов плагиоклаза показал, что в анортите и битовните вероятно преобладает  $Fe^{3+}$  (табл. 1; 2), в лабрадоре — примерно равные количества  $Fe^{3+}$  и  $Fe^{2+}$  (табл. 3), в андезине и олигоклазе преобладает  $Fe^{2+}$  (табл. 4; 5). Для андезина и олигоклаза это коррелируется с особенностями состава парагенных темноцветных минералов.

Наши наблюдения и анализ литературных данных свидетельствуют, что содержание железа в плагиоклазе не является надежным критерием формационной принадлежности магматических пород.

В низкоградно метаморфизованных крымских породах в составе плагиоклаза снижено содержание кальция и калия, содержание железа не изменилось.

**Благодарности.** Авторы благодарны рецензентам Е.В. Кислову и анонимному рецензенту, а также А.Л. Перчуку и А.А. Арискину за внимание к нашей работе и конструктивные замечания.

**Финансирование.** Работа выполнена по плану научно-исследовательских работ кафедр минералогии и петрологии геологического факультета МГУ, с использованием оборудования, полученного по программе развития МГУ имени М.В. Ломоносова.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Баддасарян Г.П., Лебединский В.И. Новые данные об абсолютном возрасте магматических пород Горного Крыма // Докл. АН СССР. 1967. Т. 173. С. 149–152.

Волынец О.Н., Колосков А.В. Плагиоклазы четвертичных эффузивов и малоглубинных интрузивов Камчатки. М.: Наука, 1976. 135 с.

Волынец О.Н., Шека С.А., Дубик Ю.М. Оливин — анортитовые включения вулканов Камчатки и Курил // Включения в вулканических породах Курило-Камчатской островной дуги. М.: Наука, 1978. С. 124–167.

Давыдова В.О., Плечов П.Ю., Щербаков В.Д. и др. Высоко калиевые базальтовые трахиандезиты ксеноли-

тов в пирокластических отложениях вулкана Безымянный, Камчатка // Геология и геофизика. 2018. Т. 59(9). С. 1087–1099.

Кравченко С.М. Петрографические особенности интрузивных массивов южной части центрального Крыма // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1958. № 11. С. 100–105.

Кумеев С.С. Полевые шпаты — петрогенетические индикаторы. М.: Недра, 1982. 207 с.

Латышев А.В., Панов Д.И. Юрские магматические тела в долине реки Бодрак, ЮЗ Крым // Вестник Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2008. № 2. С. 70–78.

- Лебединский В.И., Шалимов А.И. Магматические проявления в структуре и геологической истории Горного Крыма // Сов. геология. 1967. № 2. С. 82–97.
- Левинсон-Лессинг Ф.Ю. Палеовулкан Карадаг в Крыму // Изв. Геол. комитета. 1926. Т. 45. 95 с.
- Леснов Ф.П., Королюк В.Н., Федоренко В.И. и др. Изоморфная примесь железа в плагиоклазах из базальтоидов вулканов Курил и Камчатки // Генетическая и экспериментальная минералогия. Вып. 7. Новосибирск: Наука, 1978. С. 98–100.
- Луцицкий В.И. Петрография Крыма. Петрография СССР. Серия 1. Региональная петрография. Вып. 8. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1939. 98 с.
- Милеев В.С., Никитин М.Ю., Рогов М.А. и др. Тектоника и геодинамическая эволюция Горного Крыма // Бюлл. МОИП. Сер. геол. 2009. Т. 84, вып. 3. С. 3–21.
- Морозова Е.Б., Сергеев С.А., Савельев А.Д. Меловые и юрские интрузии Горного Крыма: первые данные U-Pb датирования // Докл. РАН. 2017. Т. 474. С. 66–72.
- Морозова Е.Б., Сергеев С.А., Суфиев А.А. U-Pb цирконовый (Shrimp) возраст Джидайской интрузии как реперного объекта для геологии Крыма // Вестн. СПбГУ. Геология и география. 2012. № 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. Ч. 1. М.: МГУ, 2006. 135 с. Ч. 2. М.: МГУ, 2007. 110 с.
- Павлинов В.Н. Форма и механизмы образования малых интрузий типа лакколитов. М.: изд. МГРИ, 1946. 411 с.
- Плюшко В.В., Сиденко О.Г., Иванов В.И. и др. Ассоциация пикритов и кварцевых диабазов Крыма // Докл. АН СССР. 1979. Т. 244. С. 442–445.
- Спиридонов Э.М. Метаморфические и метасоматические образования // Геологическое строение Качинского поднятия Горного Крыма. Т. II. М.: МГУ, 1989. С. 136–152.
- Спиридонов Э.М., Коротаева Н.Н., Ладыгин В.М. Хромшпинелиды, титаномагнетит и ильменит островодужных вулканитов Горного Крыма // Вестник Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1989. № 6. С. 37–55.
- Спиридонов Э.М., Коротаева Н.Н., Ладыгин В.М. и др. Островодужные авгит-битовнит-лабрадоровые дациты Карадага, Горный Крым // Вестник Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2019а. № 5. С. 53–61.
- Спиридонов Э.М., Кравченко С.М., Степанов В.К. и др. Эффузивоподобные породы в составе гипабиссальных интрузивов габбро-долеритов мезозоид Горного Крыма // Петрология и геодинамика геологических процессов. Иркутск, 2021. Т. 3. С. 107–109.
- Спиридонов Э.М., Овсянников Г.Н., Филимонов С.В. и др. Островодужный гипабиссальный первомайско-аюдагскиинтрузивный комплекс Горного Крыма: геология и петрология // Ломоносовские чтения МГУ-2023. Подсекция «Геология, геохимия, геофизика и водные ресурсы Крыма»: Сб. тез. докл. М., 2023. С. 22–33.
- Спиридонов Э.М., Овсянников Г.Н., Филимонов С.В. и др. Петрогенетическая схема Н.Л. Боуэна и минеральные ассоциации горных пород островодужного первомайско-аюдагского комплекса: от плагиоцерцолитов до плагиогранитов // Современные направления развития геохимии. Т. 2. Иркутск: Ин-географии СО РАН, 2022. С. 149–153.
- Спиридонов Э.М., Семиколенных Е.С., Лысенко В.И. и др. Армолколлит-содержащие островодужные плагиоцерцолиты и оливиновые габбронорит-долериты Балаклавы, Горный Крым // Вестник Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2019б. № 3. С. 51–60.
- Спиридонов Э.М., Фёдоров Т.О., Ряховский В.М. Магматические образования Горного Крыма. Статьи 1 и 2 // Бюлл. МОИП. Сер. геол. 1990. Т. 65, № 4. С. 102–112; № 6. С. 119–134.
- Спиридонов Э.М., Филимонов С.В., Семиколенных Е.С. Цирконолит, бадделеит, циркон и торит островодужных кварцевых габбронорит-долеритов интрузива Аю-Даг (Горный Крым) // Вестник Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2018. № 5. С. 70–78.
- Спиридонов Э.М., Филимонов С.В., Семиколенных Е.С. и др. Чевкинит-(Ce) и перрьерит-(Ce) островодужных кварцевых габбронорит-долеритов интрузива Аю-Даг, Горный Крым // Зап. РМО. 2019в. Ч. 148. Вып. 4. С. 61–79.
- Фирсов Л.В. Абсолютная датировка изверженных пород Крыма в качестве реперных образований для байоса // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1963. № 4. С. 24–34.
- Фрондел Дж. Минералогия Луны. М.: Мир, 1978. 333 с.
- Щербаков Д.И. Зеленокаменные породы Алупки // Сб., посвященный проф. Ф.Ю. Левинсону-Лессингу. СПб., 1915. С. 117–122.
- Almeev R., Kimura J.-I., Ariskin A., et al. Decoding crystal fractionation in calc-alkaline magmas from the Bezymianny Volcano (Kamchatka, Russia) using mineral and bulk rock compositions // J. Volcan. Geotherm. Res. 2013. Vol. 263. P. 141–171.
- Housh T.B., Luhr J.F. Plagioclase-melt equilibria in hydrous systems // Amer. Mineral. 1991. Vol. 76. P. 477–492.
- Humphreys M.C.S. Silicate liquid immiscibility within the crystal mush: evidence from Ti in plagioclase from the Skaergaard intrusion // J. Petrol. 2011. Vol. 52. № 1. P. 147–174.
- Jarosewich E., Nelen J.A., Norberg J.A. Reference samples for electron microprobe analysis // Geostandards Newsletter. 1980. Vol. 4 (1). P. 43–47.
- Lundgaard K.L., Tegner C. Partitioning of ferric and ferrous iron between plagioclase and silicate melt // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2004. Т. 147. С. 470–483
- Meijers M.J.M., Vrouwe B., 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.
- Nikishin A.M., Wannier M., Alekseev A.S., et al. Mesozoic to recent geological history of southern Crimea and the Eastern Black Sea region. In: Tectonic Evolution of the Eastern Black Sea and Caucasus (M. Sosson, R.A. Stephenson, S.A. Adamia, eds.). Geol. Soc. London. Spec. Publ. 2015. P. 241–264.
- Popov D.V., Brovchenko V.D., Nekrylov N.A., et al. Removing a mask of alteration: Geochemistry and age of the Karadag volcanic sequence in SE Crimea // Lithos. 2019. Vol. 324. P. 371–384.
- Yoder H.S., Stewart D.B., Smith J.R. Ternary feldspars // Ann. Rep. Dir. Geophys. Lab., Carnegie Inst. Washington. Year Book № 55 (56). 1956 (1957). P. 190–206.