



Электронная версия доступна на сайте
[www.fmm.ru/Новые данные о минералах](http://www.fmm.ru/Новые_данные_о_минералах)

Минералогический музей
имени А.Е. Ферсмана РАН

Новые данные о минералах, том 59, вып. 2 (2025), 37–44

НДМ

Ti-V-алланит-(Ce), V-алланит-(Ce), алланит-(Ce), REE-эпидот, Y-эпидот в островодужных биотит-кварцевых габброидах интрузива Чамны-Бурун, Горный Крым

Спиридонов Э.М.^{1,2}, Овсянников Г.Н.¹, Коротаева Н.Н.¹

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
ernstspiridon@gmail.com

²Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва

Редкоземельные минералы группы эпидота в биотит-кварцевых габброидах интрузива Чамны-Бурун островодужного первомайско-аюдагского комплекса Горного Крыма, бедные Mg, Mn, Th, образуют синтаксические сростания с биотитом и включения в нем. Слабо зональный густо-коричневый в проходящем свете Ti-V-алланит-(Ce) слагает ядра кристаллов алланита, содержит 3.5 мас.% V_2O_3 и 1.2 мас.% TiO_2 ; в нем $Ce \gg La \sim Nd \gg Y \sim Pr > Sm \sim Gd \sim Dy$. V-алланит-(Ce) и алланит-(Ce) слагают и слабо зональные, и сложно секториально-зональные кристаллы, обособленные или с оторочками REE-эпидота. Коричневый в проходящем свете V-алланит-(Ce) содержит 1.3–2.2 мас.% V_2O_3 и 0.9 мас.% TiO_2 ; в нем: $Ce \gg La \sim Nd \gg Y > Pr > Sm > Gd \sim Dy$. Светло-коричневый в проходящем свете алланит-(Ce) содержит до 0.9 мас.% V_2O_3 и TiO_2 ; в нем: $Ce \gg La \sim Nd > Y \gg Pr > Sm \sim Gd \sim Dy$. REE-эпидот слагает сложно зональные и секториально-зональные кристаллы и оторочки вокруг алланита-(Ce); в нем: $Ce \gg La \sim Nd \gg Y > Sm > Gd > Pr \gg Dy$. Y-эпидот с 2.6 мас.% Y_2O_3 слагает оторочки на кристаллах алланита. Минералы группы эпидота габброидов Чамны-Буруна и других интрузивов (Аю-Даг и иные) существенно различаются: среди первых присутствует Y-эпидот и отсутствуют ферриалланит-(Ce) и алланит-(Y), в первых V преобладает над Ti, величина La/Nd в ходе их эволюции почти не меняется и составляет 1.15–1.3 (в прочих снижается в несколько раз), доля иттрия в сумме Y+REE в три раза выше и составляет 11.5% против 4.4% в алланите иных интрузивов, доля Sm и Gd в сумме лантанидов в два раза выше и составляет 2.7% и 2.2% против 1.1% и 1.2% в алланите других интрузивов. Факты свидетельствуют, что глубинный источник интрузива Чамны-Бурун был обособлен от других интрузивов, тогда как большинство исследователей полагало, что все небольшие интрузивы – апофизы крупного тела габброидов, подстилающего мезозойды Горного Крыма.

Ключевые слова: Ti-V- и V-алланит-(Ce), алланит-(Ce), REE-эпидот, Y-эпидот, островодужные габброиды Горного Крыма.

Введение

Редкоземельные минералы группы эпидота – характерные акцессорные минералы кварцевых габброидов с биотитом островодужного базитового первомайско-аюдагского интрузивного ком-

плекса в мезозойдах Горного Крыма [Спиридонов и др., 2025]. В этой статье рассмотрены редкоземельные минералы группы эпидота еще одного из типичных габброидных интрузивов Горного Кры-

ма – Чамны-Буруна. Это Ti-V-ферриалланит-(Ce), V-алланит-(Ce), алланит-(Ce), REE-эпидот, Y-эпидот, которые образуют сростания с биотитом или включения в его агрегатах.

Алланит (ортит) – распространенный акцессорный минерал магматических, метаморфических и метасоматических горных пород. Классификация редкоземельных минералов группы эпидота дана в работе [Армбрустер и др., 2006]. Обзор этой группы минералов приведен в статье [Спиридонов и др., 2025; англ. вариант – *Geochem. Intern.* 2025. Vol. 63. №8. P. 686-719. ISSN 0016-7029. DOI: 10.1134/S001670292600021X], в ней же подробно описаны минералы этой группы в островодужных габброидах Горного Крыма.

Геология Горного Крыма

Горный Крым в мезозое – окраина океана Тетис. В триасе – ранней юре это пассивная окраина Русской платформы. В средней юре это активная окраина Русской платформы с островной андезитовой вулканической дугой и немалым количеством мелких интрузивов габброидов [Спиридонов и др., 1990]. Мезозоида Горного Крыма слагают сложноскладчатые толщи флиша позднего триаса – ранней юры, несогласно перекрытые терригенно-карбонатными и угленосными отложениями средней юры, смятыми в более простые складки [Милеев и др., 2009]. Флиш таврической и эскиордынской серий прорван и метаморфизован гипабиссальными интрузивами раннебайосского первомайско-аюдагского интрузивного комплекса, прорван и перекрыт вулканитами позднебайосской бодракско-карадагской вулканической серии [Спиридонов и др., 1990; Никитин, Болотов, 2007; Морозова и др., 2012]. Первомайско-аюдагский комплекс – островодужная плагиоолерцолит – габбронорит-долерит – габбронорит-диорит – кварцеводиорит – плагиогранитная формация [Спиридонов и др., 2019].

Интрузив Чамны-Бурун первомайско-аюдагского комплекса

На рис. 1 приведена схема расположения наиболее крупных интрузивов первомайско-аюдагского комплекса – Аю-Дага и Чамны-Буруна. Штокообразный интрузив Чамны-Бурун расположен в 10 км севернее горы Аю-Даг (Медведь-гора), залегает в сложно смятом терригенном флише таврической серии, вблизи от контакта с перекрывающей терригенно-известняковой толщей поздней юры. Интрузив сложной формы вытянут в меридиональном направлении, многокупольный, размером 2.6×1.2 км. Вдоль контактов интрузива развиты порфировидные мелкозернистые породы зоны закалки,



Рис. 1. Карта Горного Крыма с отмеченными на ней интрузивами первомайско-аюдагского комплекса Чамны-Бурун и Аю-Даг.

часто с обилием миндалинов, ширина такой зоны достигает 10–12 м [Кравченко, 1958а,б]. Интрузив окружен узким, до 8 м, ореолом роговиков, в том числе узловатых с андалузитом, кордиеритом, кварцито-песчаников [Куплетский, 1939]. Интрузив сложен среднезернистыми, средне-крупнозернистыми, реже пегматоидными или порфировидными средне-мелкозернистыми анортит-битовнитовыми оливковыми, безоливиновыми, кварцевыми и кварцсодержащими габбронорит-долеритами, кварцевыми габбронорит-диоритами и кварцевыми диоритами с небольшими шлирами и жилами гранодиоритов и плагиогранитов, нередко гранофировых [Кравченко, 1958а,б; Шнюкова, 2013]. Широко распространены массивные габброиды средне- и крупнозернистые, редко пегматоидные, с одной стороны, и мелко-среднезернистые, с другой. Не менее широко развиты такситовые и шлирово-такситовые габброиды с хаотичным чередованием разнозернистых меланократовых, мезократовых и лейкократовых участков неправильной формы. Габброиды почти повсеместно содержат мелкие гнезда кварца и гранофировые кварц-олигоклазовые сростания. В отдельных участках количество и размер таких гнезд растет вплоть до преобладания. Соответственно состав пород в отдельных небольших участках меняется от габброноритового через габбро-диориты и кварцевые диориты до гранофировых плагиогранитов. Преобладание в интрузиве Чамны-Бурун габброидов с обилием анортита и битовнита установил С.М. Кравченко [1958а,б].

Минеральные ассоциации интрузивных пород

Минеральные ассоциации (МА) габброидов первомайско-аюдагского комплекса отвечают реакционному ряду Н.Л. Боуэна [Спиридонов и др., 2019, 2025]: МА 1 – Mg-оливин I, хромшпинель

до алюмомагнезиохромита; МА 2 – анортит, оливин II, алюмохромит до хромтитаномагнетита; МА 3 – битовнит, субкальциевый авгит, Mg-авгит, бронзит, пижонит, армолколит; МА 4 – лабрадор, Fe-авгит, гиперстен, Mg-ильменит, титаномагнетит I, бадделейт, чевкинит-(Ce), перьерит-(Ce), цирконолит; МА 5 – андезин, титаномагнетит II, ильменит, паргасит до эденита; МА 6 – олигоклаз, кварц, биотит I, ильменит, ферриалланит-(Ce) I, алланит-(Ce), алланит-(Y), REE-эпидот I, циркон I; МА 7 – альбит-олигоклаз, кварц, кварц-полевошпатовые гранофировые срастания, биотит II, циркон II, алланит-(Ce) II, REE-эпидот II. Апатит присутствует в МА 3–7, редкие пирротин и халькопирит – в МА 3–6.

Интрузивные породы содержат заметное количество ксеногенных реститовых циркона и торита, некоторые кристаллы этого циркона обогащены иттрием; реститовые циркон и торит интенсивно растворялись в базитовом расплаве комплекса [Спиридонов и др., 2018]. Количество ксеногенного циркона и особенно торита в габброидах Чамны-Буруна существенно ниже, чем в Аю-Даге и иных интрузивах Первомайско-аюдагского комплекса.

Материалы и методы исследования

Изучена коллекция биотит-кварцевых габброидов интрузива Чамны-Бурун, собранная Г.Н. Овсянниковым. Фотографии в режиме отраженных электронов и исследование химического состава минералов сделаны в лаборатории локальных методов исследования вещества кафедры петрологии и вулканологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова на электронном сканирующем микроскопе JSM IT-500 (Jeol, Japan) с энергодисперсионным спектрометром X-Max^N (Oxford Instruments, GB), аналитик-исследователь Н.Н. Коротаева. Измерения проведены при ускоряющем напряжении 20 кВ и силе тока электронного зонда 0.7 нА. Время накопления спектра 100 секунд. Систематическая погрешность измерения главных (более 10 мас.%) компонентов не превышает 1 отн.%. Для содержаний от 1 до 10 мас.% относительная ошибка находится в пределах 5%. Анализы выполнены с использованием в качестве стандартов синтетических фосфатов индивидуальных лантанидов и иттрия: YPO₄ (Y L), CePO₄ (Ce L), LaPO₄ (La L), NdPO₄ (Nd L), PrPO₄ (Pr L), SmPO₄ (Sm L), GdPO₄ (Gd L), DyPO₄ (Dy L), а также воластонита (Ca K, Si K), микроклина (Al K), диопсида (Mg K), Fe₂O₃ (Fe K), MnTiO₃ (Mn K, Ti K), ThO₂ (Th M). Расчет формул минералов группы эпидота проведен по стандартному варианту формулы клиноцоизита, оценка содержания Fe²⁺ и Fe³⁺ – по балансу зарядов.

Ti-V-алланит-(Ce), алланит-(Ce), REE-эпидот, Y-эпидот в биотит-кварцевых габброидах интрузива Чамны-Бурун

Редкоземельные минералы группы эпидота развиты в биотит-кварцевых габбронорит-долеритах и габбронорит-диоритах. Минералы группы эпидота, бедные Mg, Mn, Th, образуют синтаксические срастания с биотитом и включения в нем. Слабо зональный густо-коричневый в проходящем свете Ti-V-алланит-(Ce) слагает ядра кристаллов (рис. 2), содержит 3.5 мас.% V₂O₃ и 1.2 мас.% TiO₂; (ан. №1, табл. 1), распределение лантанидов в нем: Ce >> La ~ Nd >> Y ~ Pr > Sm ~ Gd ~ Dy. В этом минерале доля церия в сумме лантанидов составляет 47.5%, лантана 21.8%, неодима 19.0%, празеодима 4.6%, самария 2.7%, гадолиния 2.6%, диспрозия 1.8%. Доля иттрия в сумме лантанидов и иттрия составляет 7.6%.

V-алланит-(Ce) и алланит-(Ce) слагают как слабо зональные, так и сложно секториально-зональные кристаллы, обособленные или с оторочками REE-эпидота (рис. 3). Коричневый в проходящем свете V-алланит-(Ce) содержит 1.3–2.2 мас.% V₂O₃ и 0.9 мас.% TiO₂ (ан. №2–3, табл. 1); распределение лантанидов в нем: Ce >> La ~ Nd >> Y > Pr > Sm > Gd ~ Dy. В этом минерале доля церия в сумме лантанидов составляет 45.1–46.9%, лантана 21.9–24.0%, неодима 19.1–20.1%, празеодима 4.6–5.0%, самария 3.1–3.2%, гадолиния 1.2–2.2%, диспрозия 0–2.5%. Доля иттрия в сумме лантани-

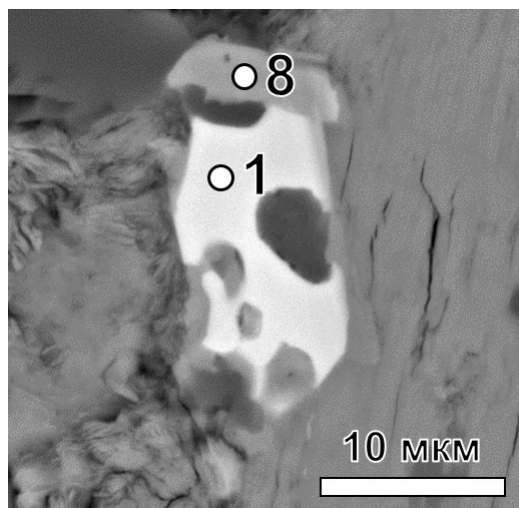


Рис. 2. Биотитсодержащие кварцевые габбронорит-долериты юга интрузива Чамны-Бурун. Зональный кристалл: Ti-V-алланит-(Ce) (белый, ан. №1, табл. 1) с оторочкой Y-эпидота (светло-серый, ан. №8, табл. 1) в гнезде биотита и кварца (темно-серый). Алланит заметно корродирован. Черное – дефекты полировки. В отраженных электронах.

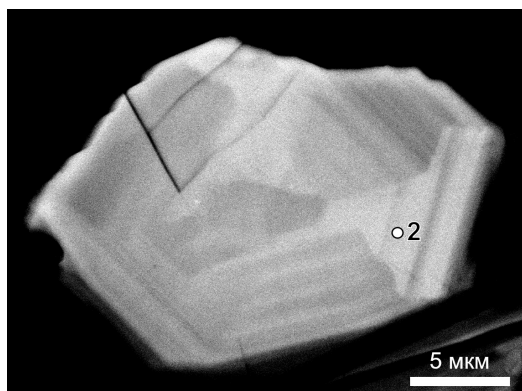


Рис. 3. Биотитсодержащие кварцевые габбронорит-долериты юга интрузива Чамны-Бурун. Тонко- и сложно-секториально-зональный кристалл: V-алланит-(Ce) (светлый сектор, ан. №2, табл. 1) с тонкой оторочкой REE-эпидота (серый), на которую местами вырос Y-эпидот (темно-серый). Алланит местами корродирован. В отраженных электронах.

дов и иттрия составляет 10.1–13.2%, что выше, чем в раннем Ti-V-алланите.

Светло-коричневый в проходящем свете алланит-(Ce) слагает ядра в кристаллах REE-эпидота (рис. 4) и обособленные кристаллы в синтаксических срастаниях с биотитом. Алланит-(Ce) содержит до 0.9 мас.% V_2O_3 и TiO_2 (ан. №4–5, табл. 1), распределение лантанидов в нем: $Ce \gg La \sim Nd > Y \gg Pr > Sm \sim Gd \sim Dy$. В этом минерале доля Ce в сумме лантанидов составляет 44.2–51.2%, лантана 21.5–25.3%, неодима 15.0–19.7%, празеодима 4.4–4.9%, самария 0–3.5%, гадолиния 0–3.2%, диспрозия 3.1%. Доля Y в сумме лантанидов и иттрия составляет 11.7–15.1%, что существенно выше, чем в раннем Ti-V-алланите.

REE-эпидот слагает сложнозональные и секториально-зональные кристаллы (рис. 5) и оторочки вокруг алланита-(Ce) (рис. 3, 4); минерал содержит 1.4–1.9 мас.% TiO_2 и до 0.2 мас.% V_2O_3 (ан. 6–7, табл. 1), распределение лантанидов в нем: $Ce \gg La \sim Nd \gg Y > Sm > Gd > Pr \gg Dy$. В этом минерале доля церия в сумме лантанидов составляет 52.8–52.9%, лантана 21.6–23.1%, неодима 18.3–19.9%, более тяжелые лантаниды не обнаружены. Доля иттрия в сумме лантанидов и иттрия составляет 17.5–21.8%, т.е. существенно выше, чем в алланите.

Y-эпидот, содержащий 2.6 мас.% Y_2O_3 , слагает оторочки на кристаллах алланита и REE-эпидота, иногда непосредственно на Ti-V-алланите-(Ce) (рис. 2, 3). Доля иттрия в сумме иттрия и лантанидов составляет 75%. В Y-эпидоте из лантанидов обнаружен лишь церий (ан. №8, табл. 1), содержания V, Ti большинства лантанидов ниже предела обнаружения.

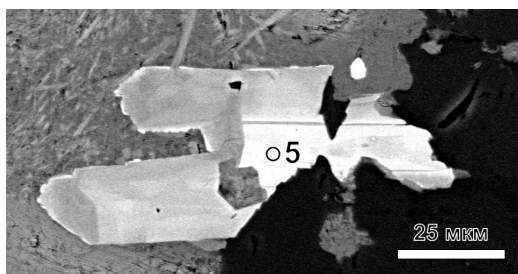


Рис. 4. Биотитсодержащие кварцевые габбронорит-диориты юга интрузива Чамны-Бурун. На краю гнезда биотита и кварца – срастание сложно-секториально-зональных кристаллов: ядро – алланит-(Ce) (белый, ан. №5, табл. 1), на который вырос REE-эпидот (серый различных оттенков). Алланит местами корродирован. В отраженных электронах.



Рис. 5. Биотитсодержащие кварцевые габбронорит-диориты юга интрузива Чамны-Бурун. В гнезде биотита – срастание сложно-секториально-зональных кристаллов REE-эпидота (серый различных оттенков). В верхнем кристалле справа светло-серый сектор (ан. №6, табл. 1). В нижнем кристалле справа серый сектор (ан. №7, табл. 1). На REE-эпидот местами выросла тонкая оторочка метаморфогенного пирита (белый). В отраженных электронах.

Эволюция состава редкоземельных минералов группы эпидота в габброидах интрузива Чамны-Бурун

Для редкоземельных минералов группы эпидота в габброидах Чамны-Буруна характерно удивительно сходное распределение лантанидов при постепенном росте доли иттрия в их составе в ходе эволюции от Ti-V-алланита-(Ce) к V-алланиту-(Ce), далее к малаванадистому-титанистому алланиту-(Ce) и REE-эпидоту (табл. 1). Уди-

Таблица 1. Химический состав (мас.%) Ti-V-алланита-(Ce) (№1), V-алланита-(Ce) (№2–3), алланита-(Ce) (№4–5), REE-эпидота (№6–7), Y-эпидота (№8) биотит-кварцевых габброндов интрузива Чамны-Бурун

| № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------------------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
| SiO ₂ | 31.47 | 30.73 | 31.88 | 31.64 | 34.37 | 35.44 | 35.78 | 38.02 |
| TiO ₂ | 1.23 | 0.92 | 0.85 | 0.57 | 0.21 | 1.85 | 1.40 | нпо |
| V ₂ O ₃ | 3.48 | 2.24 | 1.28 | 0.61 | нпо | 0.20 | нпо | нпо |
| Al ₂ O ₃ | 13.66 | 14.19 | 15.10 | 16.31 | 18.66 | 20.18 | 21.03 | 23.37 |
| Fe ₂ O ₃ | 1.52 | 0.20 | 5.21 | 2.97 | 8.21 | 8.98 | 8.33 | 11.52 |
| FeO | 12.60 | 13.66 | 9.02 | 11.14 | 6.89 | 5.02 | 4.44 | 2.18 |
| MnO | нпо | нпо | нпо | нпо | 0.41 | нпо | нпо | нпо |
| MgO | нпо | нпо | 1.09 | нпо | нпо | нпо | нпо | нпо |
| CaO | 10.61 | 10.32 | 11.76 | 11.38 | 15.85 | 19.37 | 19.78 | 21.95 |
| Ce ₂ O ₃ | 11.53 | 10.87 | 9.50 | 9.12 | 7.39 | 3.56 | 3.02 | 1.23 |
| La ₂ O ₃ | 5.27 | 5.54 | 4.58 | 4.42 | 3.63 | 1.55 | 1.24 | нпо |
| Nd ₂ O ₃ | 4.74 | 4.54 | 4.32 | 4.15 | 2.33 | 1.28 | 1.18 | нпо |
| Pr ₂ O ₃ | 1.12 | 1.07 | 1.07 | 1.02 | 0.65 | 0.40 | 0.31 | нпо |
| Sm ₂ O ₃ | 0.72 | 0.76 | 0.74 | 0.77 | нпо | нпо | 0.80 | нпо |
| Gd ₂ O ₃ | 0.68 | 0.58 | 0.53 | 0.72 | нпо | нпо | 0.52 | нпо |
| Dy ₂ O ₃ | 0.50 | нпо | 0.61 | 0.71 | 0.48 | нпо | нпо | нпо |
| Y ₂ O ₃ | 1.38 | 1.80 | 2.20 | 2.54 | 1.31 | 0.98 | 1.11 | 2.59 |
| ThO ₂ | нпо | нпо | нпо | нпо | 0.24 | нпо | нпо | нпо |
| сумма | 100.51 | 97.42 | 99.74 | 98.07 | 100.67 | 98.81 | 97.62 | 100.86 |

Примечание: нпо – ниже предела обнаружения; Eu, Tb, Ho, Er, Yb, Lu, U не обнаружены.

Таблица 1. Продолжение

| № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|----------|---------|
| Число атомов в формуле | | | | | | | | |
| Ca | 1.000 | | | | | | | |
| сумма | 1 | | | | | | | |
| Ce | 0.402 | 0.388 | 0.324 | 0.317 | 0.235 | 0.110 | 0.093 | 0.036 |
| La | 0.185 | 0.199 | 0.157 | 0.154 | 0.116 | 0.048 | 0.038 | – |
| Nd | 0.161 | 0.158 | 0.144 | 0.141 | 0.069 | 0.038 | 0.035 | – |
| Pr | 0.039 | 0.038 | 0.036 | 0.035 | 0.020 | 0.012 | 0.010 | – |
| Sm | 0.023 | 0.026 | 0.023 | 0.025 | – | – | – | – |
| Gd | 0.022 | 0.019 | 0.016 | 0.023 | – | – | – | – |
| Dy | 0.015 | – | 0.018 | 0.022 | 0.014 | – | – | – |
| REE | 0.847 | 0.828 | 0.718 | 0.717 | 0.454 | 0.208 | 0.176 | 0.036 |
| Y | 0.070 | 0.093 | 0.109 | 0.128 | 0.061 | 0.044 | 0.049 | 0.109 |
| Th | – | – | – | – | 0.005 | – | – | – |
| Ca | 0.083 | 0.079 | 0.173 | 0.155 | 0.480 | 0.748 | 0.775 | 0.855 |
| сумма | 1 | | | | | | | |
| Fe ²⁺ | 1.000 | 1.000 | 0.702 | 0.883 | 0.466 | 0.354 | 0.311 | 0.144 |
| Fe ³⁺ | – | – | 0.146 | 0.117 | 0.504 | 0.529 | 0.526 | 0.685 |
| Mg (Ti) | – | – | 0.151 | – | – | (0.117) | – | – |
| Mn (Al) | – | – | – | – | 0.030 | – | (0.163)– | (0.171) |
| сумма | 1 | | | | | | | |
| Al | 1.533 | 1.628 | 1.625 | 1.820 | 1.917 | 1.945 | 1.912 | 2.000 |
| Fe ³⁺ | 0.109 | 0.015 | 0.220 | 0.094 | 0.039 | 0.041 | – | – |
| Fe ²⁺ | 0.004 | 0.115 | – | – | 0.030 | – | – | – |
| Ti | 0.088 | 0.067 | 0.059 | 0.040 | 0.014 | – | 0.088 | – |
| V | 0.266 | 0.175 | 0.096 | 0.046 | – | 0.014 | – | – |
| сумма | 2 | | | | | | | |
| Si | 2.999 | 2.997 | 2.968 | 2.998 | 2.987 | 2.985 | 2.998 | 2.999 |
| Al | 0.001 | 0.003 | 0.032 | 0.002 | 0.013 | 0.015 | 0.002 | 0/001 |
| сумма | 3 | | | | | | | |

вительно устойчиво соотношение концентраций лантана и неодима; обычно в ходе эволюции редкоземельных минералов группы эпидота лантан истощается, а неодим накапливается. В алланите габброидов ванадий преобладает над титаном, в редкоземельном эпидоте преобладает титан. Все изученные минералы бедны магнием, марганцем, торием.

Редкоземельные минералы группы эпидота в биотит-кварцевых габброидах интрузивов островодужного первомайско-аюдагского комплекса

Редкоземельные минералы группы эпидота биотит-кварцевых габброидов Чамны-Буруна и других интрузивов комплекса (Аю-Даг и иные) существенно различаются: среди первых присутствует Y-эпидот и отсутствуют ферриалланит-(Ce) и алланит-(Y), в первых ванадий преобладает над титаном, величина La/Nd в ходе их эволюции почти не меняется и составляет 1.15–1.3 (в иных меняется в несколько раз), доля иттрия в сумме Y+REE в три раза выше и составляет 11.5% против 4.4% в алланите иных интрузивов, доля Sm и Gd в сумме лантанидов в два раза выше и составляет 2.7 и 2.2% против 1.1 и 1.2% в алланите прочих интрузивов. Повышенное содержание Y во всех разновидностях алланита-(Ce) в габброидах Чамны-Буруна – возможная причина отсутствия в них алланита-(Y), характерного минерала габброидов иных интрузивов данного комплекса [Спиридонов и др., 2025]. Незначительное количество ксеногенного торита в габброидах

Чамны-Буруна является вероятной причиной незначительного количества тория в алланите и эпидоте данных габброидов.

В целом в габброидах Горного Крыма наиболее ранний – Ti-ферриалланит-(Ce), слагающий ядра кристаллов Ti-алланита-(Ce) в Кушнарёвском интрузиве и ядра кристаллов алланита-(Ce) в интрузиве Аю-Даг; это 1-е зарождение алланита. Ti-алланит-(Ce) и Ti-V-алланит-(Ce) слагают обособленные кристаллы и ядра кристаллов алланита-(Ce) в интрузивах Аю-Даг, Лебединском, Кушнарёвском и Чамны-Бурун, это 2-е зарождение алланита. На Ti-ферриалланит-(Ce), Ti, Ti-V- и V-алланит-(Ce) почти повсеместно вырос малотитанистый и бедный ванадием алланит-(Ce), это 3-е зарождение алланита. На кристаллы алланита-(Ce) довольно часто нарастает алланит-(Y) – в Аю-Даге, Партените, Кушнарёвском, это 4-е зарождение алланита. Алланит окружают REE-эпидот и более поздний Y-эпидот.

Вероятная причина возникновения раннего ферриалланита вместо алланита – остаточная повышенная водонасыщенность расплава, о чем свидетельствует наличие магматических паргасита и эденита в составе предшествующей 5-й минеральной ассоциации [Спиридонов и др., 2019]. Вероятный источник Th, которым бедна исходная базитовая магма, – растворяющийся ксеногенный торит; по-видимому, с этим связано хаотичное появление в составе алланита повышенных содержаний Th (до 1.8 мас.%). Возникновение алланита-(Y) – наиболее позднего среди алланита в габброидах – очевидно, связано с накоплением

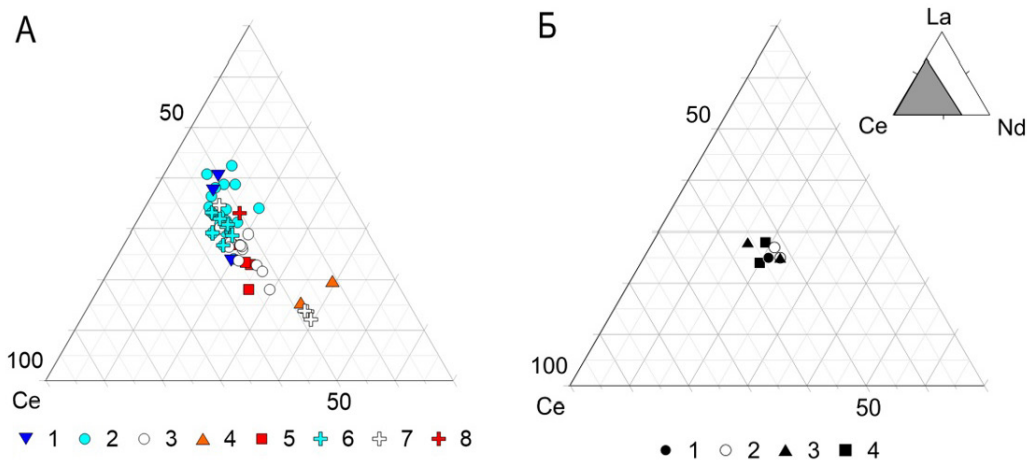


Рис. 6. Относительное содержание Ce, La, Nd в алланите и REE-эпидоте Горного Крыма. А. Кварцевые габброиды: 1 – Ti-ферриалланит-(Ce) 1-го зарождения; 2 – Ti- и Ti-V-алланит-(Ce) 2-го зарождения; 3 – алланит-(Ce) 3-го зарождения; 4 – алланит-(Y) 4-го зарождения; 5 – REE-эпидот. Плагиигранитоиды: 6 – Ti- и Ti-V-алланит-(Ce) 1-го зарождения; 7 – алланит-(Ce) 2-го зарождения; 8 – REE-эпидот [Спиридонов и др., 2025]. Б. Интрузив Чамны-Бурун: 1 – Ti-V-алланит-(Ce) 1-го зарождения; 2 – V-алланит-(Ce) 2-го зарождения; 3 – алланит-(Ce) 3-го зарождения; 4 – REE-эпидот (наши новые данные).

иттрия в расплаве; дополнительными источниками иттрия мог быть растворяющийся реликтовый циркон, содержащий до 6 мас.% Y [Спиридонов и др., 2018, 2019].

В рассматриваемых минералах повсеместно наиболее устойчиво содержание главного лантанида – церия. В алланите и REE-эпидоте габброидов Аю-Дага, Кушнарёвского, Лебединского и близких к ним интрузивов весьма изменчиво – в три раза – содержание неодима, лантана, празеодима; крайне изменчиво содержание иттрия и иттриевых редкоземельных элементов, а также тория; от ранних зарождений алланита к поздним проявлен отчетливый тренд истощения La и накопления Nd (рис. 6 А). В алланите и REE-эпидоте габброидов Чамны-Буруна вариации содержаний лантанидов значительно меньше (рис. 6 Б). На диаграммах точки содержаний лантанидов в изученных минералах образуют связанные комплексы. Очевидно, что это генетически единая серия минералов.

О вероятной причине окраски алланита-(Ce)

Фактические данные свидетельствуют, что основными хромофорами крымского алланита-(Ce), вероятно, являются Ti^{4+} (комбинация $Ti^{4+} - Fe^{2+}$) и $Ti^{4+} + V^{3+}$ (в комбинации с Fe^{2+}).

Выводы

1. Редкоземельные минералы группы эпидота биотит-кварцевых габброидов Чамны-Буруна и других интрузивов комплекса (Аю-Даг и иные) существенно различаются: среди первых присутствует Y-эпидот и отсутствуют ферриалланит-(Ce) и алланит-(Y), в первых ванадий преобладает над титаном, величина La/Nd в ходе их эволюции почти не меняется и составляет 1.15–1.3 (в иных меняется в несколько раз), доля иттрия в сумме Y+REE в три раза выше и составляет 11.5% против 4.4% в алланите иных интрузивов, доля Sm и Gd в сумме лантанидов в два раза выше и составляет

2.7 и 2.2% против 1.1 и 1.2% в алланите прочих интрузивов. Эти факты свидетельствуют, что глубинный магматический источник интрузива Чамны-Бурун был обособлен от других интрузивов Горного Крыма, тогда как большинство исследователей полагало, что все небольшие интрузивы – выступы, апофизы единого крупного тела габброидов, подстилающего мезозойды Горного Крыма.

2. С учетом наших ранее опубликованных данных по редкоземельным минералам группы эпидота, в островодужных биотит-кварцевых габброидах Горного Крыма установлено шесть зарождений редкоземельных минералов группы эпидота. 1-е: Ti-ферриалланит-(Ce); 2-е: Ti-, Ti-V- и V-алланит-(Ce); 3-е: алланит-(Ce); 4-е: алланит-(Y); 5-е: REE-эпидот; 6-е: Y-эпидот. Одним из источников Y при образовании этих минералов мог быть растворяющийся богатый Y реститовый ксеногенный циркон, которого немало в габброидах Горного Крыма. Хаотичное появление в алланите повышенных содержаний Th (до 1.8 мас.%), по-видимому, связано с растворением ксеногенного торита.

3. Вероятным источником титана в изученном алланите явились более ранние чевкинит и перрьерит, которые алланит активно замещал, титана и ванадия – более ранний ильменит, обогащенный этими химическими элементами.

Благодарности

Авторы благодарны рецензентам – проф. В.И. Алексееву и канд. геол.-мин. наук В.Ю. Карпенко за ценные конструктивные замечания, которые позволили существенно улучшить нашу статью.

Работа выполнена по плану научно-исследовательских работ кафедры минералогии геологического факультета МГУ с использованием оборудования, полученного по программе развития Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

Список литературы:

Армбрустер Т., Бонацци П., Акасака М., Берманец В., Шопен К., Жире Р., Хеус-Асбихлер С., Лейбшер А., Менчетти С., Пан Я, Мазеро М. Рекомендательная номенклатура минералов группы эпидота // Зап. РМО. 2006. №6. С. 19-23.
Кравченко С.М. Геология интрузивного комплекса юга центральной части Горного Крыма: диссертация канд. геол.-мин. наук. М.: МГРИ, 1958а. 260 с.
Кравченко С.М. Петрографические особенности интрузивных массивов юга Центрального Крыма в свете

новых данных // Изв. АН СССР. Геология. 1958б. №3 С. 100-105.
Лучицкий В.И. Петрография Крыма. Петрография СССР. Серия 1. Региональная петрография. Вып. 8. М.-Л.: изд. АН СССР, 1939. 98 с.
Милеев В.С., Барабошкин Е.Ю., Розанов С.Б., Рогов М.А. Тектоника и геодинамическая эволюция Горного Крыма // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2009. Т. 84. Вып. 3. С. 3–21.
Морозова Е.Б., Сергеев С.А., Суфиев А.А. U-Pb

цирконовый (Shrimp) возраст Джидайской интрузии как реперного объекта для геологии Крыма // Вестник СПбГУ. Серия геология и география. 2012. Вып. 4. С. 25-33.

Никитин М.Ю., Болотов С.Н. Геологическое строение Крымского учебного полигона МГУ. Ч. 2. М.: МГУ, 2007. 110 с.

Спиридонов Э.М., Овсянников Г.Н., Филимонов С.В., Койбагарова Е.С., Коротаева Н.Н. Ti ферриалланит-(Ce), Ti-V и Ti алланит-(Ce), алланит-(Ce), алланит-(Y), REE-эпидот островодужных габброидов и плагиогранитоидов первомайско-аюдагского комплекса Горного Крыма // Геохимия. 2025. Т. 70. №8. С. 41-70 (англ. вариант – *Geechem. Intern.* 2025. Vol. 63. №8. P. 686-719. ISSN 0016-7029. DOI: 10.1134/S001670292600021X).

Спиридонов Э.М., Семиколенных Е.С., Лысенко В.И., Филимонов С.В., Коротаева Н.Н., Кривицкая Н.Н. Армолколлит-содержащие островодужные плагиолерцо-

литы и оливиновые габбронорит-долериты Балаклав, Горный Крым // Вестник МГУ. Серия 4. Геология. 2019. №3. С. 51-60.

Спиридонов Э.М., Фёдоров Т.О., Ряховский В.М. Магматические образования Горного Крыма. 1. // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1990а. Т. 65. Вып. 4. С. 119-134.

Спиридонов Э.М., Фёдоров Т.О., Ряховский В.М. Магматические образования Горного Крыма. 2. // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1990б. Т. 65. Вып. 6. С. 102-112.

Спиридонов Э.М., Филимонов С.В., Семиколенных Е.С., Коротаева Н.Н. Цирконолит, бадделлит, циркон и торит островодужных кварцевых габбронорит-долеритов интрузива Аю-Даг (Горный Крым) // Вестник МГУ. Серия 4. Геология. 2018. №5. С. 70–78. DOI: 10.3103/S0145875218060121

Шнюкова Е.Е. Магматизм зоны сочленения Западно-Черноморской впадины, Горного Крыма и Скифской плиты. Автореферат докт. дисс. Киев: КДУ, 2013. 40 с.