



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

Спиридов 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 срастания с биотитом и включения в нем. Слабо зональный густо-коричневый в проходящем свете Ti-V-алланит-(Се) слагает ядра кристаллов алланита, содержит 3.5 мас.% V_2O_3 и 1.2 мас.% TiO_2 ; в нем Ce >> La ~ Nd >> Y ~ Pr > Sm ~ Gd ~ Dy. V-алланит-(Се) и алланит-(Се) слагают и слабо зональные, и сложно секториально-зональные кристаллы, обособленные или с оторочками REE-эпидота. Коричневый в проходящем свете V-алланит-(Се) содержит 1.3–2.2 мас.% V_2O_3 и 0.9 мас.% TiO_2 ; в нем: Ce >> La ~ Nd >> Y > Pr > Sm > Gd ~ Dy. Светло-коричневый в проходящем свете алланит-(Се) содержит до 0.9 мас.% V_2O_3 и TiO_2 ; в нем: Ce >> La ~ Nd > Y >> Pr > Sm ~ Gd ~ Dy. REE-эпидот слагает сложно зональные и секториально-зональные кристаллы и оторочки вокруг алланита-(Се); в нем: Ce >> La ~ Nd >> Y > Sm > Gd > Pr >> 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-(Се) 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 мезозоиды Горного Крыма.

Ключевые слова: Ti-V- и V-алланит-(Се), алланит-(Се), 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 мезозоидах Горного Крыма [Спиридов 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, У-эпидот, которые образуют срастания 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 [Спиридов 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 [Спиридов и др., 1990]. Мезоиды 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 [Спиридов и др., 1990; Никитин, Болотов, 2007; Морозова и др., 2012]. Первомайско-аюдагский комплекс – островодужная плагиолерцолит – габбронорит-долерит – габбронорит-диорит – кварцеводиорит – плагиогранитная формация [Спиридов и др., 2019].

Интузив 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 миндалин, 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, среднекрупнозернистыми, реже пегматоидными или порфировидными среднекрупнозернистыми аноортит-битовнитовыми оливиновыми, безоливиновыми, кварцевыми и кварцодержащими габбронорит-долеритами, кварцевыми габбронорит-диоритами и кварцевыми диоритами с небольшими шлирами и жилами гранодиоритов и плагиогранитов, нередко гранофирировых [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 гранофирировые кварц-олигоклазовые срастания. 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 гранофирировых плагиогранитов. Преобладание в интрузиве Чамны-Бурун габброидов с обилием аноортита 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 [Спиридов и др., 2019, 2025]: МА 1 – Mg-оливин I, хромшпинель

до алюмомагнезиохромита; МА 2 – анортит, оливин II, алюмохромит до хромититаномагнетита; МА 3 – битовнит, субкальциевый авгит, Mg-авгит, бронзит, пижонит, армоколит; МА 4 – лабрадор, Fe-авгит, гиперстен, Mg-ильменит, титаномагнетит I, бадделеит, чевкинит-(Ce), перрьеит-(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.

Интузивные 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 [Спиридонос и др., 2018]. Количество ксеногенного циркона и особенно торита в габброидах Чамны-Буруна существенно ниже, чем в Аю-Даге и иных интузивах первомайско-аюдагского комплекса.

Материалы и методы исследования

Изучена коллекция биотит-кварцевых габброидов интузива 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 волластонита (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 клиноцизита, оценка содержания Fe²⁺ и Fe³⁺ – по балансу зарядов.

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

Редкоземельные минералы группы эпидота развиты в биотит-кварцевых габронорит-долеритах и габронорит-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-

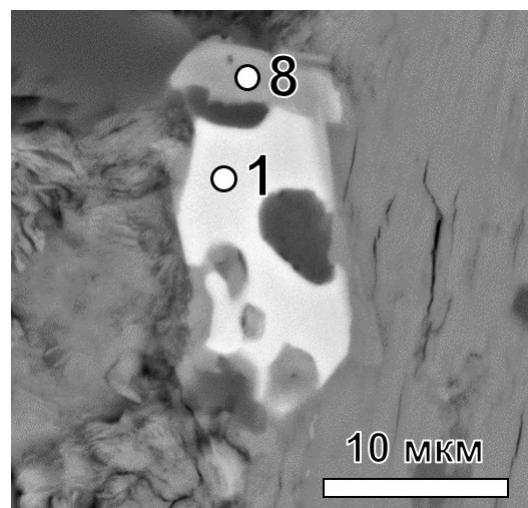


Рис. 2. Биотитсодержащие кварцевые габронорит-долериты юга интузива Чамны-Бурун. Зональный кристалл: Ti-V-алланит-(Ce) (белый, ан. №1, табл. 1) с оторочкой Y-эпидота (светло-серый, ан. №8, табл. 1) в гнезде биотита и кварца (темно-серый). Алланит заметно корродирован. Черное – дефекты полировки. В отраженных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

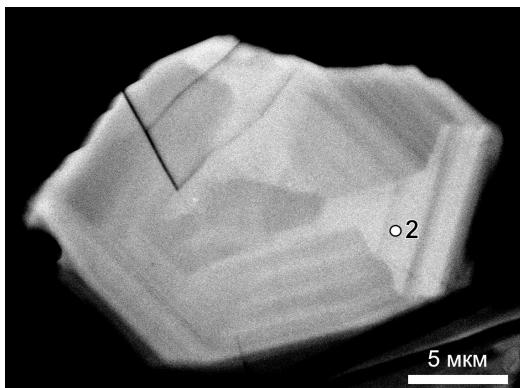


Рис. 3. Биотитсодержащие кварцевые габбронорит-долериты юга интрузива Чамны-Бурун. Тонко- и сложно-секториально-зональный кристалл: V-алланит-(Се) (светлый сектор, ан. №2, табл. 1) с тонкой оторочкой REE-эпидота (серый), на которую местами нарос Y-эпидот (темно-серый). Алланит местами корродирован. В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

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

Светло-коричневый в проходящем свете алланит-(Се) слагает ядра в кристаллах REE-эпидота (рис. 4) и обособленные кристаллы в синтаксических срастаниях с биотитом. Алланит-(Се) содержит до 0.9 мас.% V_2O_3 и TiO_2 (ан. №4–5, табл. 1), распределение лантанидов в нем: Ce >> La ~ Nd > Y >> Pr > Sm ~ Gd ~ 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-(Се) (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 >> La ~ Nd >> Y > Sm > Gd > Pr >> 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-(Се) (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.

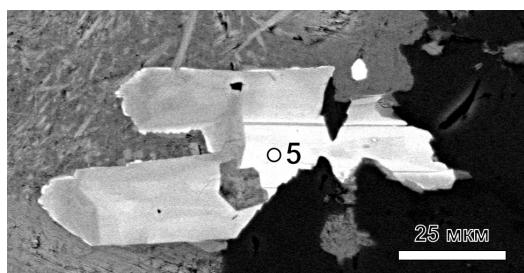


Рис. 4. Биотитсодержащие кварцевые габбронорит-диориты юга интрузива Чамны-Бурун. На краю гнезда биотита и кварца – срастание сложно-секториально-зональных кристаллов: ядро – алланит-(Се) (белый, ан. №5, табл. 1), на который нарос REE-эпидот (серый различных оттенков). Алланит местами корродирован. В 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 наросла 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-(Се) к V-алланиту-(Се), далее к малованадистому-титанистому алланиту-(Се) 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 нарос 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

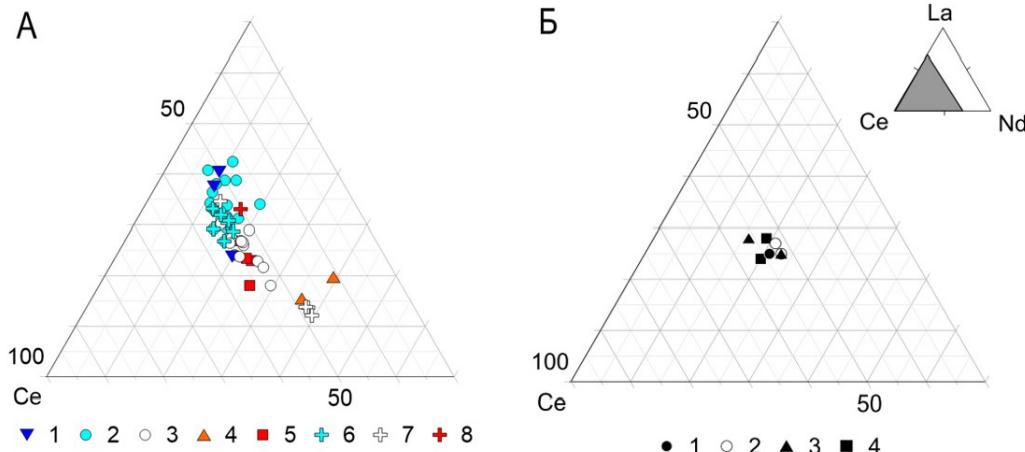


Рис. 6. Относительное содержание Ce, La, Nd в алланите и REE-эпидоте Горного Крыма. А. Кварцевые габброиды: 1 – Ti-ферриалланит-(Ce) 1-го зарождения; 2 – Ti- и Ti-V-алланит-(Ce) 2-го зарождения; 3 – алланит-(Ce) 3-го зарождения; 4 – алланит-(Y) 4-го зарождения; 5 – REE-эпидот. Плагиогранитоиды: 6 – Ti- 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 мезозоиды 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 редкоземельный ксеногенетический 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:

Армбрустэр Т., Бонацци П., Акасака М., Берманец В., Шопен К., Жире Р., Хеус-Ассбихлер С., Лейбшер А., Менчетти С., Пан Я., Мазеро М. Рекомендуемая 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., Суфьев А.А. У-Рb

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.

Спиридовон Э.М., Овсянников Г.Н., Филимонов С.В., Коийагарова Е.С., Коротаева Н.Н. Ти-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).

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

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

Спиридовон 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.

Спиридовон 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.

Спиридовон Э.М., Филимонов С.В., Семиколенных Е.С., Коротаева Н.Н. Цирконолит, бадделеит, циркон и тортит 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.