

## Карбонатные минералы Контозерского палеовулканического комплекса

**Забавчик Н.И., Базай А.В.**

*Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, n.zabavchik@ksc.ru*

**Аннотация.** В работе рассмотрены карбонатные минералы палеовулканического комплекса Контозеро, а также представлены исследования, которые указывают, что анкерит также входит в число породообразующих карбонатных минералов. В изученных образцах наблюдаются также карбонаты Sr – стронцианит, Ba – баритокальцит и карбонатные минералы редкоземельных элементов.

**Ключевые слова.** Контозеро, палеовулкан, минералогия, карбонатиты, анкерит.

## Carbonate minerals of the Kontozero palaeovolcanic complex

**Zabavchik N.I., Bazai A.V.**

*Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Apatity, n.zabavchik@ksc.ru*

**Abstract.** The article deals with carbonate minerals of the palaeovolcanic Kontozero complex. Also presented are the studies indicating that ankerite is a rock-forming carbonate mineral. Carbonates Sr – strontianite, Ba – baritocalcite and carbonates of rare earth elements are also observed in the studied samples.

**Keywords:** Kontozero, palaeovolcano, mineralogy, carbonatites, ankerite.

### **Введение**

На Кольском полуострове щелочно-ультраосновной магматизм, который сопровождается карбонатитами, проявлен довольно широко, но осадочно-вулканогенный карбонатитовый комплекс Контозеро – это единственное образование в регионе (Пятенко, 1976). Кальдера Контозеро располагается на северо-востоке Балтийского щита и является наиболее древним известным карбонатитовым палеовулканом не только в пределах Кольского полуострова, но и мира. Депрессия сложена интрузивными (щелочные пироксениты и нефелиновые сиениты) и эффузивными породами (туфы, туффиты ультраосновного-субщелочного ряда, карбонатитовые лавы) (Попов, 1967). Согласно литературным данным (Пятенко, 1976; Кириченко, 1970), карбонатитовые лавы имеют кальцитовый и кальцит-доломитовый состав. Цель работы заключается в том, чтобы выявить основные характеристики карбонатных минералов: химический состав, морфологию кристаллов, их взаимодействие с другими минералами и распространенность в пределах изучаемого комплекса.

### **Материалы и методы**

Исследования минералов проводились на электронно-зондовом микроанализаторе Cameca MS-46. (Геологический институт Кольского научного центра РАН, Апатиты, Россия), режим WDS (Дисперсионный спектрометр с длиной волны), ускоряющее напряжение 22 кВ, сила тока 20–30 нА, диаметр пучка 5–20 мкм (Cameca, Генневилье, Франция). Изображения в обратно-рассеянных электронах (BSE-изображения) получены с помощью электронного микроскопа LEO-1450 AZtechLive Advanced Ultim Max 100 (Oxford Instruments NanoAnalysis & Asylum Research, United Kingdom).

Исследованные образцы представляют собой kern скважины № 6, пробуренной в северо-восточной части Контозерской кальдеры и пересекающей породы карбонатно-терригенной толщи. В целом, породы Контозера мелкозернистые, скрытокристаллические, часто наблюдается карбонатный цемент, с погруженными в него относительно крупными порфирированными кристаллами группы апатита, альбита, сульфидов и других минералов. Изучение образцов с помощью электронно-зондового микроскопа Cameca MS-46 показало, что кальцит и минералы серии доломит-анкерит являются породообразующими карбонатами, карбонаты Sr, Ba – это характерные акцессорные, а иногда они переходят в разряд породообразующих минералов. Карбонат редких земель, обнаружен только в одном образце и его химический состав требует уточнения. На первом этапе минерал

был диагностирован как бурбанкит  $(\text{Na,Ca})_3(\text{Sr,Ba,Ce})_3(\text{CO}_3)_5^1$  или карбоцернаит  $(\text{Sr,Ce,La})(\text{Ca,Na})(\text{CO}_3)_2$ , однако при последующем расчете формулы минерала, стало ясно, что ни один из них ей не соответствует.

*Кальцит* является одним из породообразующих минералов, слагающих общий карбонатный матрикс. По составу (табл. 1) он близок к теоретической формуле, с незначительными примесями марганца и железа, реже – стронция. Выделения кальцита часто имеют неправильную форму (рис. 1 а), края неровные с нечеткими границами. Встречаются относительно крупные (до 150 мкм в поперечнике) зерна кальцита, пространство между которыми занято мелкозернистыми агрегатами минералов группы апатита (рис. 1 б)

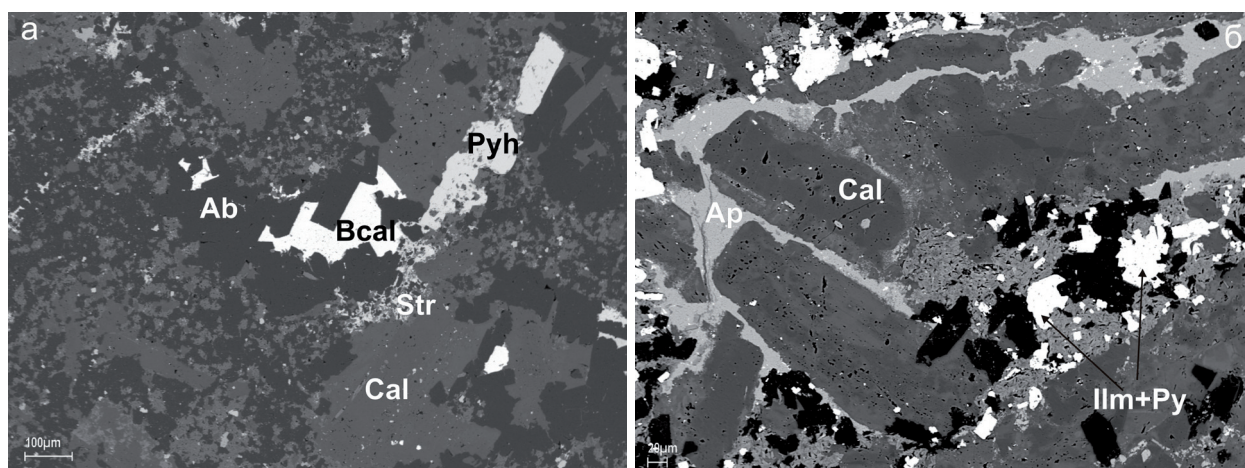


Рис. 1. Морфология зерен кальцита в карбонатах палеовулканического комплекса Контозеро: а – выделения кальцита неправильной формы в сростаниях с альбитом; б – идиоморфные кристаллы кальцита с минералом группы апатита в интерстициях. BSE-изображения. Аббревиатуры минералов, одобренные IMA–CNMNC (Warr, 2021).

Fig. 1. The morphology of calcite grains in the palaeovolcanic Kontozero complex. SEM, BSE images. IMA–CNMNC approved mineral symbols (Warr, 2021).

*Доломит и анкерит*, как и кальцит, являются породообразующими минералами. Часто они образуют мелкозернистую сплошную массу (рис. 2 а), в которую погружены другие минералы; например пирит или минералы группы апатита. В отдельных образцах наблюдается зональное распределение основных карбонатных минералов (рис. 2 б): в центре находится кальцит и, двигаясь к периферии, сменяется доломитом и затем анкеритом. Также отмечены и отдельные изометричные кристаллы анкерита (рис. 2 в) и ксеноморфные выделения анкерита в ассоциации с ильменитом (рис. 2 г). Доломит и анкерит являются изоструктурными соединениями и образуют непрерывный изоморфный ряд,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  -  $\text{Ca}(\text{Fe}^{2+},\text{Mg})(\text{CO}_3)_2$  -  $\text{CaFe}^{2+}(\text{CO}_3)_2$ . Однако конечный минерал -  $\text{CaFe}^{2+}(\text{CO}_3)_2$  до сих пор не был найден в природе и не был синтезирован, а эксперименты показали, что при температуре  $> 700^\circ\text{C}$  происходит исчезновение трехфазной системы и образуются две отдельные фазы – кальцит  $\text{Ca}(\text{CO}_3)$  и сидерит  $\text{Fe}^{2+}(\text{CO}_3)$  (Anovitz et al., 1987). Следуя классификации (Chang et. Al., 1996), доломитом считают минерал, в котором отношение  $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg}) < 0.2$ , анкеритом –  $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg}) > 0.2$ , а конечным членом является соединение, где отношение  $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$  не превышает 0.7. Исходя из сказанного выше и расчета формул минералов (табл. 1) все представленные анализы Mg-Fe карбонатов относятся к анкериту, поскольку отношение  $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$  в исследованных образцах варьирует от 0.27 до 0.44. Расчет формул доломита в таблице 1 не представлен из-за отсутствия представительных анализов, подходящих для пересчета, однако его количество в породе велико.

*Стронцианит*  $\text{Sr}(\text{CO}_3)$  и *баритокальцит*  $\text{BaCa}(\text{CO}_3)_2$  являются характерными карбонатными аксессуарными минералами для Контозерского комплекса, но иногда их количество в породе позво-

<sup>1</sup> Формулы минералов приведены согласно IMA List of Minerals, March 2022.



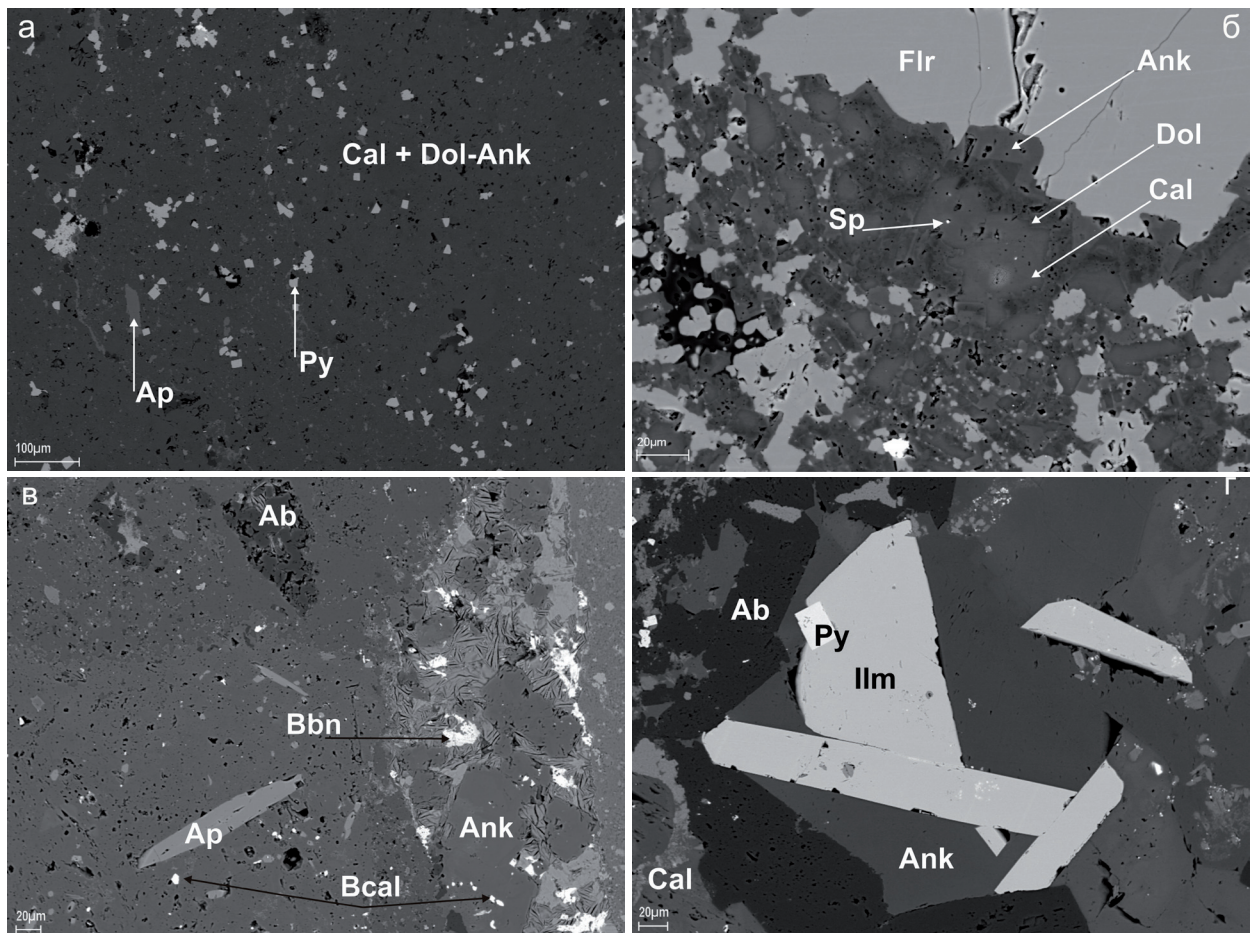


Рис. 2. Морфология зерен доломита и анкерита в карбонатитах Контозерского комплекса: а – кальцит-доломит-анкеритовая скрытокристаллическая масса, с погруженными в нее агрегатами минерала группы апатита и пирита; б – зональное распределение карбонатных минералов; в – изометричное зерно анкерита; г – ксеноморфное выделение анкерита в ассоциации с ильменитом. BSE-изображения.

Fig. 2. The morphology of dolomite and ankerite grains in carbonatites of the Kontozero complex: a – cryptocrystalline calcite-dolomite-ankerite mass with submerged mineral aggregates of the apatite and pyrite group; b – zonal distribution of carbonate minerals; c – isometric ankerite grain; d – xenomorphic segregation of ankerite associated with ilmenite. BSE images.

ляет относить их к породообразующим минералам. Размер зерен стронцианита и баритокальцита достигает 300 мкм, что является достаточно крупным для данного типа пород. Минералы, в основном, занимают интерстициональное положение – это говорит о том, что кристаллизовались они после кальцита и минералов серии доломит-анкерит. Стронцианит чаще наблюдается в сростании с кальцитом (рис. 1 а), а баритокальцит – с альбитом. Оба минерала обладают близким к теоретическому минеральным составом (табл. 1), но в составе баритокальцита наблюдается незначительная примесь стронция, а в стронцианите – бария и редкоземельных элементов, таких как La, Ce, Pr и Nd. Отмечено было так же наличие кальциевой разновидности стронцианита – эммонита, где содержание кальция достигает 0.37 формульных единиц.

### **Заключение**

Карбонатитовые лавы палеовулканического комплекса Контозеро сложены, в основном, карбонатными минералами – кальцитом, доломитом и анкеритом. В процессе их изучения было установлено, что анкерит для Контозерской кальдеры является распространенным минералом и вероятно, что он может быть породообразующим не только в пределах изучаемой скважины, но и распространяться на все карбонатиты Контозерского комплекса. Почти в каждом исследуемом образце наблюдаются щелочноземельные карбонаты – стронцианит и баритокальцит, а также отмечают-

ся находки редкоземельных карбонатных минералов. Палеовулканический комплекс Контозеро обладает интересными минералогическими особенностями и, исходя из представленного исследования, авторы считают, что следует провести более подробное минералогическое изучение кальдеры на предмет редкоземельных карбонатных минералов и их особенностей.

Таблица 1. Химический состав и формулы карбонатов.  
 Table 1. Chemical compositions and formula of the Kotozero minerals.

Название минерала № обр.	Cal		Ank				Str			Bcal	
	6-678.4-3d	6-629.7-4a-1	6-678.4-3g-1	6-707.0-3b-1	6-629.7-4a-2	6-629.7-2a-2	6-578.2-6b-1	6-629.7-4a	6-678.4-3g	6-496.0-6a	6-678.4-6a-1
Оксиды											
SiO <sub>2</sub>	0.11	–	0.08	0.10	0.97	–	–	0.19	–	–	–
TiO <sub>2</sub>	0.04	–	0.04	–	–	–	–	–	–	–	–
FeO	0.92	–	8.29	14.61	11.97	15.03	–	0.08	–	–	0.05
MnO	0.23	0.62	1.85	0.42	0.64	1.14	–	–	–	–	0.10
MgO	0.12	–	12.27	11.03	9.12	11.20	–	–	–	–	–
CaO	51.35	53.96	30.77	28.85	27.96	27.87	1.54	5.69	11.24	18.67	18.68
NaO	–	–	–	–	–	–	0.30	–	–	0.13	–
SrO	0.85	0.31	0.33	0.36	0.47	0.16	64.47	58.03	55.60	0.86	0.90
BaO	–	–	–	–	–	–	–	3.48	1.68	50.17	51.29
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.20	–
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	–	–	–	–	–	0.56	–	–	–	–
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	–	–	–	–	–	0.60	–	–	–	–
CeO <sub>2</sub>	–	–	–	–	–	–	0.84	0.36	–	–	–
Сумма	53.61	54.89	53.62	55.36	51.12	55.40	68.32	67.82	68.52	70.03	71.02
Расчет формульных коэффициентов на основе											
	O=3		O=6				O=3			O=6	
Si	0.00	–	0.00	0.00	0.03	–	–	0.00	–	–	–
Fe <sup>2+</sup>	0.01	–	0.23	0.41	0.36	0.42	–	–	–	–	0.00
Mn	0.00	0.01	0.05	0.01	0.02	0.03	–	0.00	–	–	0.00
Mg	0.97	–	0.61	0.54	0.48	0.55	–	–	–	–	–
Ca	0.00	0.99	1.10	1.02	1.06	0.99	0.04	0.15	0.37	0.98	0.98
Na	–	–	–	–	–	–	0.01	–	–	0.01	–
Sr	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.92	0.81	0.72	0.02	0.03
Ba	–	–	–	–	–	–	–	0.03	0.01	0.96	0.99
V	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.02	–
La	–	–	–	–	–	–	0.01	–	–	–	–
Pr	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Nd	–	–	–	–	–	–	0.01	–	–	–	–
Ce	–	–	–	–	–	–	0.01	–	–	–	–

Автор выражает признательность Михайловой Юлии Александровне и Селивановой Екатерине Андреевне за важные замечания и консультации в процессе написания работы.

## Литература

1. Кириченко Л.А. Контозерская серия каменноугольных пород на Кольском полуострова. Л. Изд-во: Недра. 1970. 110 с.
2. Попов А.С. К вопросу о палеозойском вулканизме Кольского полуострова // Докл. Академии наук СССР. Москва. 1967. Т. 174. № 1. С. 173–176.
3. Пятенко И.К., Сапрыкина Л.Г. О находке карбонатитовых лав и пирокластитов в палеозойской осадочно-вулканогенной толще района Контозера на Кольском полуострове // Докл. Академии наук СССР. Москва. 1976. Т. 229. № 4. С. 963–966.
4. Anovitz L.M., Essene E.J. Phase equilibria in the system  $\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3\text{-FeCO}_3$  // Journal of Petrology. 1987. V. 28(2). P. 389–415. <https://doi:10.1093/petrology/28.2.389>.
5. Chang L.L.Y., Howie R.A., Zussman J., Rock-forming minerals. Second edition. Non-silicates: Sulphates, Carbonates, Phosphates, Halides. V. 5B. Longman Group. Essex. England. 1996. 380 p.
6. Warr L.N. IMA–CNMNC approved mineral symbols // Mineralogical Magazine. 2021. V. 85. №. 3. P. 291–320. <https://doi.org/10.1180/mgm.2021.43>.