

УДК 549.742.22

Ca-СОДЕРЖАЩИЙ СТРОНЦИАНИТ, БАРИТ, ДОЛОМИТ И КАЛЬЦИТ В МЕТАКИМБЕРЛИТАХ ТРУБКИ ЗАРНИЦА, ЯКУТИЯ

Е.Л. Соколова

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва, mineral@fmm.ru

Э.М. Спиридонов

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, mineral@geol.msu.ru

Изучен стронцианит из метакимберлитов трубки Зарница. По минеральным ассоциациям и изотопному составу углерода и кислорода Ca-содержащий стронцианит и ассоциирующие минералы имеют метаморфогенно-гидротермальный генезис и возникли в условиях цеолитовой фации регионального низкоградного метаморфизма погружения послетраппового возраста.

В статье 6 рисунков, 3 таблицы, список литературы из 23 названий.

Кимберлитовые трубки в центральной части Восточно-Сибирской платформы секут толщи палеозоя плитного чехла и имеют большей частью дотрапповый возраст. Кимберлиты по составу отвечают ультраосновным щелочным лампрофирам со значительным (до 30–50 % объёма) количеством магматического пластинчатого кальцита, содержащего до 3 мас. % Sr и 0.5 мас. % Ba (Никишов, 1984; Mitchell, 1986). Толщи раннего и среднего палеозоя Восточно-Сибирской платформы содержат массу эвапоритов, нередко насыщенных рассолами; эвапориты и рассолы обогащены Sr, ангидриты и доломиты содержат рассеянный целестин (Геология..., 1966).

Значительная часть Восточно-Сибирской платформы покрыта многокилометровыми толщами платобазальтов и/или туфов базальтов и насыщена дайками, силлами и интрузивами габбро-долеритов трапповой формации, изотопный возраст которой 251 млн. лет (Kamo *et al.*, 2003), что отвечает границе пермь-триас. Трапповая формация и подтрапповые толщи с телами кимберлитов дотраппового возраста испытали значительное погружение (аналогичное погружению Антарктиды, Гренландии, Балтийского щита под тяжестью намёрзших льдов). Все эти образования захвачены метаморфизмом погружения — региональным метаморфизмом в условиях цеолитовой и пренит-пумпеллиитовой фаций; изотопный Rb/Sr возраст процессов низкоградного метаморфизма плитного чехла Восточно-Сибирской платформы от 232 до 122 млн. лет, последнее значение датирует время формирования месторождений исландского шпата (Спиридонов и др., 2000, 2006).

Отметим особенности низкоградного метаморфизма: 1) крайняя неоднородность про-

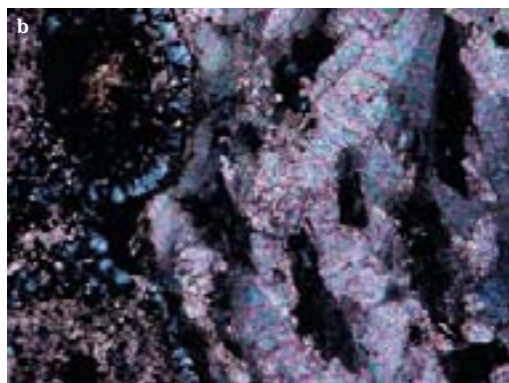
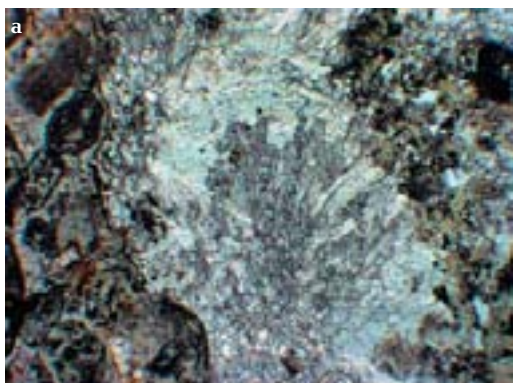
явления; количество метаморфогенных новообразований меняется от следов до 100% на коротких расстояниях; максимальное их количество около флюидопроводников (зон трещиноватости); 2) флюидодоминирующий характер — по этой причине метароды, как правило массивные, не расланцованы, содержат трещины гидроразрыва, заполненные метаморфогенно-гидротермальными жилами альпийского типа; 3) повышенный окислительный потенциал метаморфогенных флюидов (Thompson, 1971; Файф и др., 1981; Low Grade..., 1999 и др.). Жилы альпийского типа заполнили цеолиты, серпентин, минералы кремнезёма, карбонаты Ca-Mg-Fe-Mn-Sr, гидрооксиды Fe, сульфаты Ca-Sr-Ba...

Изменённые кимберлиты с обильной вкрапленностью, гнёздами и жилами серпентина, кальцита, доломита, магнетита, пирита, целестина, брусита — амакинита, гидроталькита — пироаурита, минералов кремнезёма (в том числе гнёзд агата) и иных низкотемпературных минералов, характер которых не меняется во всём интервале разведанных глубин (до 1200–1500 м), обычно рассматривают как образования древних кор выветривания или как послемагматические (Бобривич и др., 1959; Лебедев, 1963; Милашев, 1963; Францесон, 1968; Маршинцев и др., 1980; Корнилова и др., 1981; Подвысоцкий, 1985). Этому противоречат фактические данные по температурам формирования карбонатов, серпентина, магнетита, целестина в изменённых кимберлитах (80–130°C и до 210–250°C) (Кузнецов и др., 1995; Соколова, Спиридонов, 2006 и др.) и данные по изотопии кислорода (Уханов и др., 1982, 1986). Обоснованно усомнился в послемагматическом генезисе гидротермальной Sr минерализации в серпентинизированных кимберлитах И.П. Илупин (Илупин, 1961).



Рис. 1. Гнёзда и прожилки стронцианита в метакимберлитах: а – образец 60063, 10 см; б – образец М 28392, 9.5 см.

Рис. 2. а – прожилок Ca-содержащего стронцианита в метакимберлитах с зелёным лизардитом. Шлиф при 1 николе. Ширина поля зрения 4 мм. б – деталь снимка 2а. Слева метакимберлиты – тонкозернистые агрегаты доломита, анкерита, кальцита и лизардита. Справа – сростания нескольких расщеплённых призматических кристаллов Ca-содержащего стронцианита. Николи х. Ширина поля зрения 0.8 мм. Образец 60063.



Минеральные ассоциации метакимберлитов Восточно-Сибирской платформы отвечают цеолитовой фации (Спиридонов и др., 2000); серпентиновый минерал в них – лизардит, типичные парагенезы лизардит + кальцит, лизардит + доломит, лизардит + гётит (Корнилова и др., 1981; Никишов, 1984; Соколова, Спиридонов, 2006).

Минералы стронция – целестин и стронцианит широко развиты среди метакимберлитов трубок Мир, Удачная-Восточная, Якутская, Заполярная и многих других, особенно широко в трубке Зарница (Бобриевич и др., 1959; Илупин, 1961 и др.). В метакимберлитах трубки Зарница гнёзда целестина с поперечником до 25 см и его прожилки расположены в скоплениях лизардита. Целестин замещает лизардит. Целестин бесцветный, белый, голубой, красновато-розовый (с включениями мельчайших пластинок лепидокрокита), бурый (с включениями битумов и нефти размером до 0.5 мм). В зонах трещиноватости целестин частично или полностью замещён

стронцианитом. Замещение целестина стронцианитом обусловлено ростом фугитивности CO_2 в метаморфогенном флюиде, что обычно происходит при понижении температуры (Thompson, 1971).

Нами изучены агрегаты фарфоровидного (обр. 60063) и сферолитового (обр. М28392) стронцианита. Химический состав стронцианита и парагенных минералов определён с помощью электронного микрозонда JXA-50А в лаборатории Минералогического музея РАН, эталоны SrSO_4 (Sr), BaSO_4 (Ba, S), диопсид USNM 117733 (Ca, Mg, Mn, Fe); там же получены фотографии в режиме электронного микроскопа, исследователь Л.А. Паутов. Изотопный состав стронция, углерода и кислорода в стронцианите измерен в лаборатории изотопного анализа ГИН РАН, исследователь Б.Г. Покровский.

Образец 60063 – это брекчированные метакимберлиты с корками, гнёздами и прожилками стронцианита (рис. 1а, 2). Толщина прожилков до 4 см. Плотная масса стронци-

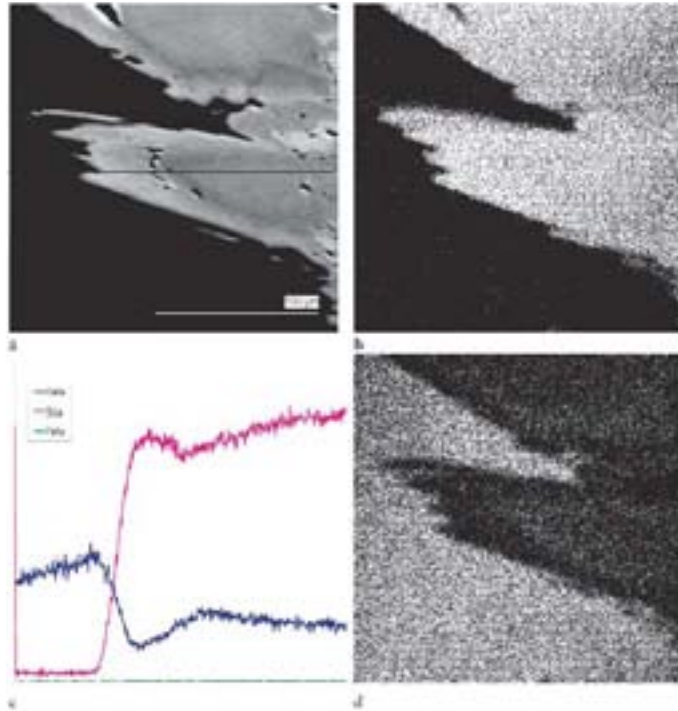


↑ Рис. 3. Агрегаты Са-содержащего стронцианита (светлое) (анализы s1–s4) с массой кристаллов кальцита (серое) (анализ c1), редким баритом (анализы b1–b2), реликтовым лизардитом (чёрное) на метакимберлитах. Изображение в отражённых электронах. Ширина поля зрения 1.9 мм. Образец 60063.

↗ Рис. 4. Сферолит стронцианита, 2 мм. На нём мелкие зональные кристаллы доломита. Шлиф при 1 николе. Образец М 28392.

↗↗ Рис. 5. Срастания стронцианита и доломита: а — на агрегатах призматических кристаллов Са-содержащего стронцианита (белое) корки сферолитов доломита (серый) (анализы d1–d3) с включениями мелких кристаллов барита (анализы b3–b5) (ширина поля зрения 2.9 мм). б — деталь снимка 5а, щётка зональных кристаллов Са-содержащего стронцианита (анализы s5–s8) (ширина поля зрения 0.3 мм). Изображения в отражённых электронах. Образец М 28392.

→ Рис. 6. Зональные кристаллы Са-содержащего стронцианита, на которые вырос доломит. Изображения: а — в отражённых электронах; б — в характеристическом рентгеновском излучении SrLa; в — концентрационные профили Sr, Са и Fe по линии, показанной на А; д — в характеристическом рентгеновском излучении СаКа. Образец М 28392



анита под микроскопом — агрегат расщеплённых длиннопризматических кристаллов (рис. 2). По составу это Са-содержащий **с т р о н ц и а н и т** $\text{Sr}_{0.792-0.814}\text{Ca}_{0.181-0.203}\text{Fe}_{0.002-0.005}\text{Ba}_{0-0.001}[\text{CO}_3]$ (табл. 1, ан. s1 – s4). Около метакимберлитов в агрегатах Са-содержащего стронцианита обилие кальцит (рис. 3), его состав $\text{Ca}_{0.990}\text{Sr}_{0.007}\text{Fe}_{0.002}\text{Ba}_{0.001}[\text{CO}_3]$ (табл. 1, ан. c1). В массе стронцианита развиты редкие выделения барита размером до 20 мкм, его состав $\text{Ba}_{0.970-0.973}\text{Sr}_{0.009-0.023}\text{Ca}_{0-0.009}\text{Fe}_{0.004-0.012}[\text{SO}_4]$ (табл. 2, ан. b1 – b2).

Образец М28392 — это метакимберлиты с крупным гнездом из сферолитов стронцианита, размер сферолитов до 4 мм (рис. 1б, 4). Сферолиты сложены Са-содержащим стронцианитом относительно однородного состава. На них выросли мелкие зональные кристаллы доломита (рис. 4) и их агрегаты или

зональные по составу призматические кристаллы Са-содержащего стронцианита длиной до 1 мм (рис. 5, 6). Призматические кристаллы Са-содержащего стронцианита частично полые, их поперечное сечение ромбовидное. Внутренние зоны этих кристаллов обогащены Са, их состав $\text{Sr}_{0.720-0.726}\text{Ca}_{0.271-0.276}\text{Fe}_{0.003}[\text{CO}_3]$ (табл. 1, ан. s7 – s8), внешние зоны обогащены Sr, их состав $\text{Sr}_{0.831-0.851}\text{Ca}_{0.148-0.162}\text{Fe}_{0-0.003}\text{Ba}_{0.001-0.002}[\text{CO}_3]$ (табл. 1, ан. s5 – s6). Местами на сферолиты Са-содержащего стронцианита выросли сплошные сферолитовые корки доломита толщиной до 0.5 мм (рис. 5, 6) с микровключениями гётита, которые придают доломиту коричневатую окраску. Состав доломита отвечает $\text{Ca}_{1.007-1.030}\text{Mg}_{0.950-0.967}\text{Sr}_{0.016-0.026}[\text{CO}_3]_2$ (табл. 3, ан. d1-d3). С Са-содержащим стронцианитом ассоциирует подчинённый барит. Кристаллики барита включены в сферолиты стронцианита или расположены по

Таблица 1. Химический состав Са-содержащего стронцианита (s1-s8) и кальцита (c1) из гнёзд в метакимберлитах трубки Зарница, Якутия

Компоненты мас. %	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	c1
SrO	60.36	59.51	61.29	59.94	61.42	63.89	55.96	56.23	0.67
CaO	7.28	8.24	7.94	7.88	6.45	6.02	11.67	11.35	55.09
FeO	0.19	0.28	0.13	0.20	0.28	0.03	0.17	0.18	0.17
BaO	0.06	—	—	0.08	0.21	0.07	—	—	0.10
CO ₂ *	31.51	31.84	32.32	31.80	31.40	31.92	33.05	32.33	43.68
Сумма	99.40	99.87	101.71	99.90	99.77	101.93	100.85	100.09	99.71
Формульные коэффициенты									
Sr	0.814	0.792	0.805	0.801	0.831	0.851	0.720	0.726	0.007
Ca	0.181	0.203	0.193	0.195	0.162	0.148	0.277	0.271	0.990
Fe	0.004	0.005	0.002	0.004	0.005	0.000	0.003	0.003	0.002
Ba	0.001	—	—	0.001	0.002	0.001	—	—	0.001
Сумма	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Примечание: Электронный микрозонд JXA-50А, аналитик Л.А. Паутов.

— содержание элемента ниже чувствительности РСМА. Мп не обнаружен.

* — содержание CO₂ рассчитано по стехиометрии

Таблица 2. Химический состав барита (b1-b5) в ассоциации со стронцианитом из гнёзд в метакимберлитах трубки Зарница, Якутия

Компоненты мас. %	b1	b2	b3	b4	b5
BaO	63.14	64.11	61.97	61.42	63.89
SrO	1.03	0.42	2.20	2.15	1.79
CaO	0.01	0.23	0.44	0.21	0.45
FeO	0.12	0.38	не опр.	не опр.	0.24
SO ₃	33.90	34.58	34.46	34.09	35.51
Сумма	98.20	99.71	99.07	99.06	101.88
Формульные коэффициенты					
Ba	0.973	0.970	0.936	0.941	0.938
Sr	0.023	0.009	0.049	0.049	0.039
Ca	0.000	0.009	0.018	0.009	0.018
Fe	0.004	0.012	-	-	0.007
SO ₄	1.000	1.000	0.997	1.001	0.998
сумма	2	2	2	2	2

Примечание: Электронный микрозонд JXA-50А, аналитик Л.А. Паутов

соседству с ними в окружающем доломите. Барит содержит до 2.2 мас. % SrO, его состав отвечает Ba_{0.936-0.941}Sr_{0.039-0.049}Ca_{0.009-0.018}Fe_{0-0.007}[SO₄] (табл. 2, ан. b3 — b5).

Изотопный состав стронция в стронцианите устойчив: ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr = 0.7080 (обр. М 28392) и 0.7084 (обр. 60063). Изотопный состав кислорода в стронцианите заметно колеблется: δO¹⁸ (SMOW) = +11.7 (обр. 60063) и +14.8 (обр. М 28392). Ещё более изменчив изотопный состав углерода в стронцианите: δC¹³ (PDB) = -0.7 (обр.

Таблица 3. Химический состав доломита (d1-d3) в ассоциации со стронцианитом из гнёзд в метакимберлитах трубки Зарница, Якутия

Компоненты мас. %	d1	d2	d3
CaO	30.86	31.38	30.74
MgO	21.30	21.21	20.39
SrO	1.46	0.91	1.12
CO ₂ *	48.11	48.18	46.88
сумма	101.73	101.68	99.13
Формульные коэффициенты			
Ca	1.007	1.022	1.030
Mg	0.967	0.962	0.950
Sr	0.026	0.016	0.020
сумма	2	2	2

Примечание: Электронный микрозонд JXA-50А, аналитик Л.А. Паутов. Fe, Мп, Ва — не обнаружены. * — содержание CO₂ рассчитано по стехиометрии.

60063) и -9.9 (обр. М 28392). Наши данные по изотопному составу Sr близки к данным в работах (Костровицкий и др., 1983; Exley, Johnes, 1983). Возможные источники Sr для метаморфогенно-гидротермального стронцианита — магматический кальцит кимберлитов и/или вмещающие эвапоритовые толщи. Изотопные составы кислорода и углерода в стронцианите отвечают гидротермальным карбонатам по (Ferrini *et al.*, 2003 и др.)

Итак, генезис Са-содержащего стронци-

анита, барита, кальцита и доломита в метакимберлитах трубки Зарница метаморфогенно-гидротермальный; этот парагенез возник в условиях низкотемпературной части цеолитовой фации.

Авторы признательны Л.А. Паутову и Б.Г. Покровскому за высококачественные химические и изотопные анализы, Российскому фонду фундаментальных исследований за финансовую поддержку (грант РФФИ № 07-05-00057).

Литература

- Бобривич А.П., Бонгаренко М.Н., Гневушев М.А. и др. Алмазные месторождения Якутии. М.: Госгеолтехиздат. **1959**. 528 с.
- Геология Сибирской платформы (ред. И.И. Краснов, М.Л. Лурье, В.Л. Масайтис). М.: Недра. **1966**. 447 с.
- Илупин И.П. К вопросу о генезисе минералов стронция в кимберлитовых трубках западной Якутии //Тр. Минерал. Музея АН СССР. **1961**. Вып. 12. С. 212–217.
- Корнилова В.П., Никишова Л.В., Никишов К.Н. Минералы группы серпентина из кимберлитовых пород Якутии //Парагенезы минералов кимберлитовых пород. Якутск: изд. ЯФ СО АН СССР. **1981**. С. 65–81.
- Костровицкий С.И., Днепровская Л.В., Брандт С.Б. Корреляция изотопных составов Sr, С и О в карбонатах из кимберлитов Якутии //Докл. АН СССР. **1983**. Т. 272. С. 1223–1225.
- Кузнецов Г.В., Мацюк С.С., Зинчук Н.Н. Гидротермальный кальцит из кимберлитов Якутии //Зап. ВМО. **1995**. Вып. 6. С. 87–100.
- Лебедев А.А. О гидротермальной стадии серпентинизации кимберлитов в связи с находкой в них брусита //Петрография и минералогия коренных месторождений алмаза. Вып. 8. М.: изд. АН СССР. **1963**. С. 71–86.
- Маршинцев В.К., Зольников Г.В., Никишов К.Н. Карбонаты кимберлитов Сибирской платформы //Эндогенные карбонаты Якутии. Новосибирск: Наука. **1980**. С. 18–35.
- Никишов К.Н. Петролого – минералогическая модель кимберлитового процесса. М.: Наука. **1984**. 213 с.
- Погвысоцкий В.Т. Серпентино-карбонатная минерализация в кимберлитах //Зап. ВМО. **1985**. Вып. 2. С.234–247.
- Соколова Е.Л., Спиригонов Э.М. Парагенез гётита и лизардита – типичное образование метакимберлитов цеолитовой фации и заключённых в них метаперидотитов //Новые данные о минералах. **2006**. Вып. 41. С. 86–90.
- Спиригонов Э.М., Киров Г.Н., Иванова П.В., Янакиева Д.Я. Послескарновые гидротермалиты Рудногорского месторождения в трубке взрыва базальтов трапповой формации (юг Сибирской платформы) //Вулканизм и геодинамика. Т. 3. Улан-Удэ: изд. Бурятского НЦ СО РАН. **2006**. С. 771–775.
- Спиригонов Э.М., Ладыгин В.М., Симонов О.Н., Кулагов Э.А., Степанов В.К. Метавулканиды пренит-пумпеллиитовой и цеолитовой фаций трапповой формации Норильского района Сибирской платформы. М.: изд. МГУ. **2000**. 212 с.
- Уханов А.В., Девирц А.А. Метеорное происхождение воды, серпентинизировавшей кимберлиты Якутии //Докл. АН СССР. **1982**. Т. 268. С. 706–710.
- Уханов А.В., Устинов В.И., Девирц А.А. Низкие температуры серпентинизации якутских кимберлитов по изотопно-кислородным данным //Докл. АН СССР. **1986**. Т. 288. С. 466–469.
- Файф В.С., Прайс Н., Томпсон А.Б. Флюиды в земной коре. М.: Мир. **1981**. 436 с.
- Францессон Е.В. Петрология кимберлитов. М.: Недра. **1968**. 191 с.
- Exley R.A., Jones A.P. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in kimberlite carbonates by ion microprobe: hydrothermal alteration, crustal contamination and relation to carbonatite //Contrib. Mineral. Petrol. **1983**. Vol. 83. P. 288–292.
- Ferrini V., Martarelli L., de Vito C., ?ina A., Deda T. The Koman dawsonite and realgar-orpiment deposit, Northern Albania: influences of processes of formation //Canad. Mineral. **2003**. Vol. 41. P. 413–427.
- Kamo S.L., Czamanske G.K., Amelin Yu., Fedorenko V., Davis D., Trofimov V. Rapid eruption of Siberian flood-volcanic rocks and evidence for coincidence with Permian – Triassic boundary and mass extinction at 251 Ma //Earth Planet. Sci. Lett. **2003**. Vol. 214. P. 73–93.
- Low Grade Metamorphism. Frey M. (ed.). Oxford: Blackwells Science. **1999**. 313 p.
- Mitchell R.H. Kimberlites: mineralogy, geochemistry, and petrology. New York, London: Plenum Press. **1986**. 442 p.
- Thompson A.B. PCO_2 in low-grade metamorphism; zeolite, carbonate, clay mine rals, prehnite relations in the system $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ //Contrib.