

можно объяснить увеличение доли нефелиновых сиенитов и карбонатитов при уменьшении ультрабазитов в глубокоэродированных комплексах (Украина, Урал).

Очевидно, эффект Сорэ сочетается с более общим и, вероятно, более мощным эффектом ликвации. Не исключено, что эффект Сорэ "срабатывает" как в целом в магматическом очаге, так и для каждого отдельного ликвата. Эффект Сорэ, как это полагал Л.С. Егоров, наиболее оптимально проявляется в магматических расплавах, богатыми летучими компонентами (CO₂, H₂O, F, Cl и др.). В таких расплавах наиболее обеспечивается диффузия компонентов.

Вероятно, этот эффект можно применить и для объяснения гомодромной последовательности формирования многих магматических комплексов других формационных типов. Однако он наиболее эффективен в магматических системах богатых летучими и щелочными компонентами, какими могут быть карбонатитовые и, возможно, агпайтовые щелочные комплексы.

Литература:

1. Происхождение и формационный состав Маймеча-Котуйского магматического комплекса // Карбонатиты и щелочные породы Севера Сибири. – Л. – Ротапринт НИИГА. – 1970. – С. 134-156.
2. Егоров Л.С. Ийолит-карбонатитовый плутонизм / Ленинград: Недра, 1991. – 260 с.
3. Кривдик С.Г., Ткачук В.И. Петрология щелочных пород Украинского щита / Киев: Наук. думка, 1990. – 408 с.
4. Кухаренко А.А., Орлова М.П., Булах А.Г. и др. Каледонский комплекс ультраосновных щелочных пород и карбонатитов Кольского полуострова и Северной Карелии / М.: Недра, 1965. – 772 с.
5. Avanzinelli R., Bindi L. Menchetti S. et al. Crystallization and genesis of peralkaline magmas from Pantelleria Volcano, Italy: an integrated petrological and crystal-chemical study // Lithos. – 2003. – V. 73. – P. 41-69.
6. Wolker D., DeLong S.E. Soret separation of mid-ocean ridge basalt magma // Contrib. Mineral. Petrol. – 1982. – 79. – P. 231-240.

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ РОЛЬ БИТУМИНОЗНЫХ ВЕЩЕСТВ В АГПАЙТОВЫХ ПЕГМАТИТАХ (НА ПРИМЕРЕ ПЕГМАТИТА Г. ХИБИНПАХКЧОРР, ХИБИНСКИЙ МАССИВ)

Ермолаева В.Н.*, Чуканов Н.В., Пеков И.В.***, Шлюкова З.В.******

* Институт Геохимии и Аналитической химии им. В.И. Вернадского (ГЕОХИ) РАН, Москва, svera@mail.ru; **Институт Проблем химической физики (ИПХФ) РАН, Черногловка;

Московский государственный университет (МГУ) им. М.В. Ломоносова, Москва; *Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН, Москва

Твёрдые битуминозные вещества (ТБВ) в пегматитовых телах Хибино-Ловозёрского комплекса являются характерными компонентами поздних гидротермальных парагенезисов, имеют явно эндогенное происхождение и нередко образуют скопления макроскопических размеров [1-8]. Ранее нами была продемонстрирована тесная связь этих веществ с микропористыми Ti-, Nb- и Zr-силикатами, а также с минералами редких элементов (главным образом с Th и REE). Учитывая крайне низкую растворимость всех этих элементов на гидротермальной стадии развития щелочных пегматитов, на основании фактического материала нами была сформулирована следующая концепция генетической связи органических веществ и минералов редких элементов в этих объектах:

1) Цеолитоподобные титано-, ниобо- и цирконосиликаты стимулируют процессы формирования ТБВ. Об этом свидетельствуют как постоянная пространственная связь этих минералов с ТБВ в пегматитах щелочных массивов, так и тот факт, что синтетические аналоги этих минералов широко известны как сорбенты малых молекул и эффективные

катализаторы полимеризации, риформинга и селективного окисления органических субстратов [7].

2) Окисленные производные полиядерных аренов, установленные в ТБВ, являются комплексообразователями для Th, REE, Ba, Sr, Ca и способствуют переносу и концентрированию этих элементов при низких температурах [5,7]. Основанием для этой гипотезы послужил тот факт, что макроскопические скопления окисленных битуминозных веществ в пегматитах щелочных массивов обычно сопровождаются ториевой и/или редкоземельной минерализацией [5]: на гидротермальной стадии минералообразования они являются концентраторами тория, а также щелочноземельных и редкоземельных элементов. В свою очередь, минералы тория и редкоземельных элементов, образовавшиеся в агпаитовых пегматитах на гидротермальной стадии, как правило, содержат обильные включения ТБВ (в отличие от ассоциирующих с ними минералов, не содержащих Th и REE).

Новые находки ТБВ в пегматитах Хибинского массива дали дополнительный материал для проверки сформулированной выше концепции. Приведённые ниже данные позволяют на примере одного образца наглядно продемонстрировать тесную связь органических веществ с микропористым минералом лабунцовитом-Mn, а также с минералами редких элементов: силикатом Th и Ti и силикооксидом (или силикокарбонатом) Mn и REE (рис. 1). Этот объект расположен в гидротермальной зоне развития эгирин-полевошпатовой пегматитовой жилы среди хибинитов горы Хибинпахкчорр, подробно описанной ранее [6]. Средняя и восточная части жилы сложены преимущественно минералами гидротермальной стадии: анальцитом, натролитом, катаплеитом и другими. Наиболее выделяются своим разнообразием члены группы лабунцовита: бесцветные кристаллы цепинита-Na и парацепинита-Na, неоднородные по составу (с зонами, резко обогащёнными Ca или Sr), нарастают (иногда эпитаксически) на оранжевые кристаллы более раннего лабунцовита-Mn и леммлейнита-Ba. Обогащённые ТБВ микрогетерогенные образования приурочены в основном к кристаллам лабунцовита, реже – цепинита и катаплеита. Чаще всего они образуют сферолиты чёрного цвета, диаметром до 1 мм, растущие в кристаллы лабунцовита или нарастающие на их поверхность.

Электронно-зондовый микроанализ, включающий получение изображения исследуемого объекта во вторичных и отражённых электронах и характеристическом рентгеновском излучении отдельных химических элементов, выполнялся на цифровом сканирующем электронном микроскопе CamScan MV2300, оснащённом YAG-детектором вторичных и отражённых электронов и энергодисперсионным рентгеновским микроанализатором с полупроводниковым (Si-Li) детектором Link INCA Energy. Аналитик А.Н. Некрасов (ИЭМ РАН). Подробное описание методики дано в работах [5,7]. Получен химический состав минеральных фаз, находящихся в сростании с ТБВ. Для органических фаз измерялись содержания элементов с атомными номерами > 10. Органическое вещество (анализы 1-3 в таблице 1) расположено внутри кристаллов лабунцовита-Mn (анализы 4, 5 в таблице 1, идеализированная формула $\text{Na}_4\text{K}_4\text{Mn}_2\text{Ti}_8(\text{Si}_4\text{O}_{12})_4(\text{OH},\text{O})_8 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) или нарастает на их поверхность. Характерной особенностью ТБВ из этой ассоциации, как и из других агпаитовых пегматитов, является присутствие серы. С агрегатами твёрдых битуминозных веществ тесно ассоциируют силикат Ti и Th - идеализированная формула $(\text{K},\text{Ba})_{1.5}(\text{Ca},\text{Na})(\text{Th},\text{REE})(\text{Ti},\text{Nb})_3(\text{Si},\text{Al})_8(\text{O},\text{OH})_x \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (анализ 6 в таблице 1) и силикооксид Mn и REE (анализы 7-9 в таблице 1) (рис. 1).

Все подобные образования из гидротермальных парагенезисов в пегматитах Хибинского массива [5,7] представляют собой многофазные (микрогетерогенные) сростания, включающие существенно органические и минеральные фазы. Минеральные фазы, находящиеся в сростаниях с ТБВ, разнообразны по химическому составу. Наиболее характерными компонентами в них являются Si, Mn, REE, Th, щелочные и щелочноземельные элементы. Приведённые выше данные подтверждают сделанный нами ранее вывод о том, что эволюция углеродистых веществ на гидротермальной стадии формирования агпаитовых пегматитов тесно связана с рядом специфических элементов,

которые при низких температурах, как правило, отличаются низкой активностью и подвижностью: Th, REE, Ti, Zr, Nb. Однако с появлением органических соединений возникает возможность переноса этих малоподвижных элементов в виде комплексов с гидрофильными лигандами. Приуроченность этих элементов к ТБВ может быть объяснена их тенденцией к формированию прочных комплексных соединений с органическими веществами, образующимися на позднегидротермальной стадии, что способствует переносу, концентрированию и сепарации редких элементов при низких температурах [5-7].

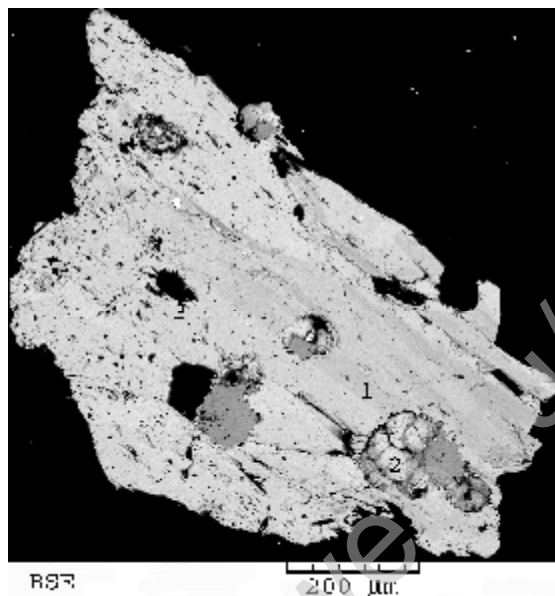


Рис. 1. Изображение в обратно-рассеянных электронах. 1 - лабунцовит-Mn, 2 - силикооксид (карбонат?) Mn и REE, 3 - Ti,Th-силикат. Чёрные обособления – органическое вещество.

Таблица 1. Содержания элементов с атомными номерами > 10 в органических фазах (анализы 1-3), а также химический состав минеральных фаз, находящихся в сростании с ТБВ (по данным локального рентгеноспектрального анализа)

Номер анализа	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Мас. %								
Na ₂ O	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	5.64	4.73	0.88	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
K ₂ O	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	7.07	6.74	3.19	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
CaO	3.41	3.54	3.89	н.п.о.	н.п.о.	2.12	0.39	0.52	0.54
BaO	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	10.19	12.17	4.04	1.64	1.25	0.68
MnO	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	2.50	2.37	1.18	30.56	28.74	29.62
FeO	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	0.59	0.78	0.58	8.65	10.90	11.01
ZnO	1.50	1.42	1.48	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	0.87	0.71	0.84
Al ₂ O ₃	0.85	0.90	0.67	н.п.о.	н.п.о.	0.72	2.99	3.64	3.60
Ce ₂ O ₃	0.16	0.44	0.37	н.п.о.	н.п.о.	1.66	1.18	1.42	1.60
La ₂ O ₃	6.08	6.66	6.15	н.п.о.	н.п.о.	2.03	3.92	4.27	3.71
Nd ₂ O ₃	2.74	2.59	2.70	н.п.о.	н.п.о.	1.46	3.55	2.83	3.54
Pr ₂ O ₃	1.09	0.66	0.67	н.п.о.	н.п.о.	0.35	1.05	0.65	1.32
Sm ₂ O ₃	0.62	0.09	0.16	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
ThO ₂	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	8.49	н.п.о.	0.56	н.п.о.
SiO ₂	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	40.56	38.94	30.51	4.32	6.51	6.20
TiO ₂	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	26.37	23.98	11.15	0.83	0.59	0.57
Nb ₂ O ₅	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	1.03	3.54	5.37	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
Сумма	16.74	16.55	17.93	94.27	93.57	73.73	60.37	63.32	64.00

Формульные коэффициенты									
Na	-	-	-	4.32	3.77	0.43	-	-	-
K	-	-	-	3.56	3.52	1.04	-	-	-
Ca	-	-	-	-	-	0.57	0.38	0.34	0.38
Ba	-	-	-	1.58	1.97	0.40	0.60	0.29	0.17
Mn	-	-	-	0.83	0.83	0.26	24.02	14.94	16.16
Fe	-	-	-	0.21	0.28	0.13	6.70	5.60	5.93
Zn	-	-	-	-	-	-	0.60	0.33	0.40
Al	-	-	-	-	-	0.22	3.26	2.63	2.72
Ce	-	-	-	-	-	0.15	0.40	0.31	0.38
La	-	-	-	-	-	0.19	1.34	0.96	0.88
Nd	-	-	-	-	-	0.13	1.18	0.62	0.81
Pr	-	-	-	-	-	0.03	0.36	0.15	0.31
Th	-	-	-	-	-	0.50	-	0.08	-
Si	-	-	-	16.00	16.00	7.78	4.00	4.00	4.00
Ti	-	-	-	7.83	7.41	2.14	0.58	0.28	0.28
Nb	-	-	-	0.18	0.65	0.62	-	-	-
Способ расчёта	-	-	-	Si=16	Si=16	Si+Al=8	Si=4	Si=4	Si=4

Примечание. 1-3 – ТБВ; 4,5 – лабунцовит-Mn; 6 – Ti,Th-силикат; 7-9 – водный силикооксид Mn и REE. В состав входят также: MgO (3 - 0.79, 4 – 0.23, 5 – 0.32); PbO (3 - 0.83); S (1 - 0.58, 2 - 0.49, 3 - 0.43); -S=O (1 - 0.29, 2 - 0.24, 3 - 0.21); Cl (7 – 0.54, 8 – 0.94, 9 – 1.00); -O=Cl₂ (7 – 0.12, 8 – 0.21, 9 – 0.23). Ф. к.: Mg (4 – 0.18, 5 – 0.21); Cl (7 – 0.85; 8 – 0.98; 9 – 1.09).

Литература

1. Зезин Р.Б., Соколова М.Н. Макропроявления углеродистых веществ в гидротермальных образованиях Хибинского массива // Докл. АН СССР. 1967. Т.177. № 4. С. 921-924.
2. Пеков И.В. Иттриевая минерализация в Хибино-Ловозёрском щелочном комплексе (Кольский полуостров) // ЗВМО. 1998. Ч. 127. № 5. С. 66-85.
3. Пеков И.В. Ловозёрский массив: история исследования, пегматиты, минералы. Москва: "Земля", 2001. 432 с.
4. Флоровская В.Н., Зезин Р.Б., Овчинникова Л.И. и др. Диагностика органических веществ в горных породах и минералах магматического и гидротермального происхождения. М.: Наука, 1968. 250 с.
5. Чуканов Н.В., Ермолаева В.Н., Пеков И.В., Соколов С.В., Некрасов А.Н., Соколова М.Н. Редкометалльная минерализация, связанная с битуминозными веществами в поздних ассоциациях пегматитов Хибинского и Ловозёрского массивов // Новые данные о минералах. 2005а. Вып. 40. С. 80-95.
6. Чуканов Н.В., Шлюкова З.В., Некрасов А.Н. Проявление битуминозных веществ в пегматите г. Хибинпахкчорр (Хибинский массив) // Тез. докл. Минералогические исследования в решении геологических проблем. Материалы годичной сессии МО РМО. Москва, 14 декабря 2005б. С. 136-138.
7. Чуканов Н.В., Пеков И.В., Соколов С.В., Некрасов А.Н., Ермолаева В.Н., Наумова И.С. К вопросу об образовании и геохимической роли битуминозных веществ в пегматитах Хибинского и Ловозёрского щелочных массивов (Кольский полуостров, Россия) // Геохимия. 2006. № 7. С. 774-789.
8. Kartashov P.M., Ferraris G., Soboleva S.V., Chukanov N.V. Caryochroite, a new heterophyllosilicate mineral from Kola peninsula (Russia) related to nafertisite // Canad. Miner. 2006. Vol. 44. P. 1331-1339.