

## НЕОБЫЧНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ УЛЬТРАЩЕЛОЧНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ГАББРОИДАХ СЕВЕРНОГО УРАЛА

Варламов Д.А. \*, Соболева А.А. \*\*

\* Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка, [dima@iem.ac.ru](mailto:dima@iem.ac.ru),

\*\* Институт геологии Коми НЦ Уральского отделения РАН, Сыктывкар, [soboleva@geo.komisc.ru](mailto:soboleva@geo.komisc.ru)

При изучении петролого-минералогических особенностей Ельминского габбро-гранитного массива (Северный Урал) в протолочках пород габбровой серии авторами были обнаружены совершенно нетипичные как для данного региона, так и для основных пород в целом [1,2], минералы, обычно свойственные ультращелочным ассоциациям агпаитовых массивов — минералы группы лампрофиллита (лампрофиллит и баритолампрофиллит), астрофиллит, эгирин, натролит, высокостронциевый фторапатит, минералы группы пирохлора(?). Их присутствие в такой геологической обстановке весьма необычно, а находка минералов группы лампрофиллита (по доступным авторам данным) вообще является первой для Уральского региона [3, 4].

Минералы группы лампрофиллита, имеющие обобщенную формулу  $(\text{Sr,Ba})_2\{\text{Na}_3\text{Ti}[\text{Ti}_2\text{O}_2(\text{Si}_2\text{O}_7)_2](\text{OH,F})_2\}$  являются характерными акцессорными (а иногда и породообразующими) минералами ультраагпаитовых массивов [1, 6]. Собственно лампрофиллит отличается преобладанием стронция в составе и часто становится важнейшим его концентратом. Намного реже в природе встречается его изоструктурный бариевый аналог баритолампрофиллит, образующий с лампрофиллитом непрерывный ряд изоморфного замещения  $\text{Sr} \leftrightarrow \text{Ba}$ . Эти минералы характеризуются довольно изменчивым составом и обычно содержат существенные примеси К, Fe, Mn, Nb, в меньших количествах в них отмечаются Са, Mg, Al, F. В других геологических обстановках минералы этой группы очень редки. Астрофиллит также обычно встречается только в весьма высокощелочных породах агпаитовых комплексов [1]. Натролит, эгирин и пирохлор, хотя и более широко распространены, однако тоже, как правило, являются индикаторами высокой щелочности массивов.

Ельминский габбро-гранитный массив расположен на Северном Урале во фронтальной части Выдерьинско-Ниолсовского аллохтона — составной части Ляпинско-Кутимского мегаантиклинория, входящего в состав Центрально-Уральского поднятия. Массив имеет сложное строение: наиболее ранней фазой являются мелко- и среднезернистые мезо- и меланократовые габбро, преимущественно амфиболовые, небольшую долю массива слагают порфиридные диориты и гранодиориты, а на заключительном этапе сформировались биотитовые граниты и лейкограниты, часто гранатсодержащие, которые прорывают габброиды, с их одновременной «пропиткой» флюидами и гранитизацией. Возраст габброидов на основании датирования цирконов локальным методом (SHRIMP) ранневендский [5], а гранитов — предположительно раннекембрийский. По данным геохимии (таблица 1), габбро, из которого были извлечены изучаемые минералы, характеризуется умеренно-повышенной щелочностью ( $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  — до 5.19 %) при калиево-натриевом ее характере ( $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  — 2.04), умеренной глиноземистостью ( $\text{al}'$  — 0.84) и высоким

Таблица 1. Химический состав габбро (обр.4-3/04)

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	п.п.п	Сумма	Ba	Sr
47.68	2.45	15.47	3.24	8.73	0.24	6.63	6.73	1.71	3.48	0.25	3.74	100.35	660	400

Примечание. Содержания породообразующих оксидов даны в мас. %, Ba и Sr — в г/т. Анализ произведен классическим химическим методом, Ba и Sr — количественным спектральным методом в ИГ Коми НЦ УрО РАН.

содержанием титана (до 2.5% TiO<sub>2</sub>). В породе отмечено высокое содержание бария (в 2 раза превышающее кларк для основных пород), что, по-видимому, и привело к образованию собственных минералов бария — баритолампрофиллита и барита. По особенностям

химического состава эти породы сопоставимы с базитами повышенной щелочности, формирующимися в условиях существования мощной континентальной коры. Само габбро представлено мелко-среднезернистой мезо-меланократовой разностью, сложенной роговой обманкой (40—60 об. %) и интенсивно сосюритизированным плагиоклазом (60—40 об. %). Акцессорные минералы представлены апатитом, титанитом, цирконом и обильным баритом; рудные — лейкоксенизированным ильменитом, гематитом и сульфидами. Нужно отметить, что повышенная щелочность типична для многих тел вендских габброидов севера Центрально-Уральского поднятия, что дает перспективы на находки подобных парагенезисов в других массивах региона.

Как отдельные индивиды в протолочках были обнаружены только минералы группы лампрофиллита и очень мелкие зерна эгирина, прочие же минералы были встречены либо в сростках с лампрофиллитами, либо в качестве включений в них. К сожалению, непосредственно в образцах или в шлифах обнаружить изучаемые минералы нам пока не удалось ввиду их малых размеров и, по-видимому, приуроченности к небольшим локальным зонам в породе.

Выделенные минеральные зерна лампрофиллитов (сконцентрированные в основном в неэлектромагнитной фракции совместно с титанитом) представлены красно-коричневыми (до светло-коричневых) просвечивающими или прозрачными кристаллами размером 100—200 мкм (редко до 400 мкм), отличающимися от титанита характерным тонкопластинчатым обликом (рис. 1 а, б), весьма совершенной спайностью по (100), изломом от ступенчатого до

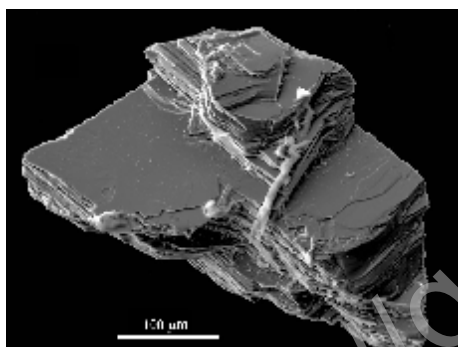


Рис. 1. а) Морфология индивидов лампрофиллита с характерным тонкослоистым строением

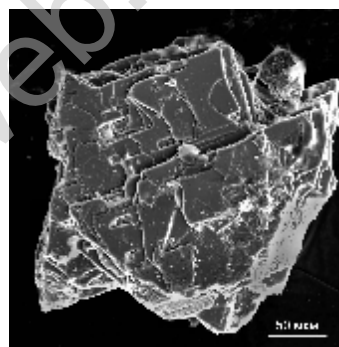


Рис. 1. б) характерными ступенчатыми скульптурными формами. Изображение во вторичных электронах.

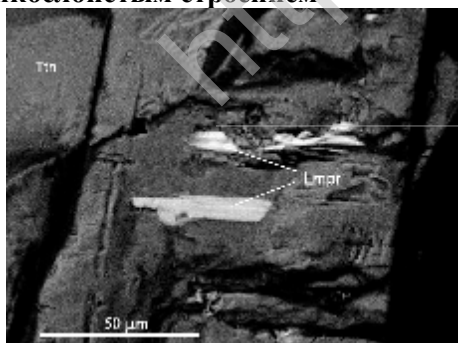


Рис. 2. Включения пластинок лампрофиллита (Lmpg) в титаните (Ttn). Изображение в обратно-рассеянных электронах.

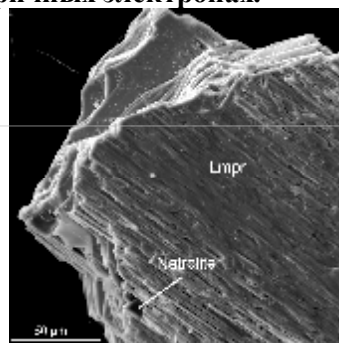


Рис. 3. «Канальный» характер слоев некоторых индивидов лампрофиллита, темное включение — натролит. Изображение во вторичных электронах.

листоватого, а также сильным стекляннным блеском. Пластинки лампрофиллита (до 30—40 мкм) иногда встречаются в виде пластовых включений в зернах титанита (рис. 2), который, возможно, и является их концентратором в породе (хотя непосредственно в шлифах пронаблюдать это не удалось). При больших увеличениях хорошо видно характерное

тонкослоистое строение индивидов. В некоторых случаях оно осложнено «канальным» строением отдельных пластин (рис. 3), по-видимому, связанному с высокой насыщенностью флюидами (водой и фтором) минералообразующей среды.

В кристаллах встречаются включения (до 10—12 мкм) высокостронциевого фторапатита (содержащие до 8 мас. % SrO и до 2.5 мас. % F), обильного мелкого флюорита, натролита и астрофиллита, причем последний встречается и в виде сростков с лампрофиллитами или в форме слоев между отдельными пластинами в зернах лампрофиллита (рис. 5 а). Натролит и астрофиллит диагностированы только по данным микрозондового анализа, поскольку индивидуальных зерен нам выделить пока не удалось. Эгирины встречаются как в виде отдельных мелких (10—20 мкм) обломков в той же фракции, так и в виде пучков иголок, «растущих» на сколах лампрофиллита (рис. 4). Обнаружено несколько микровключений (5—6 мкм) минералов группы пироклора с содержанием тантала до 4 мас.% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Кроме того, в сростках с лампрофиллитом (и в виде включений) встречаются измененный биотит и калийсодержащие амфиболы разных типов.

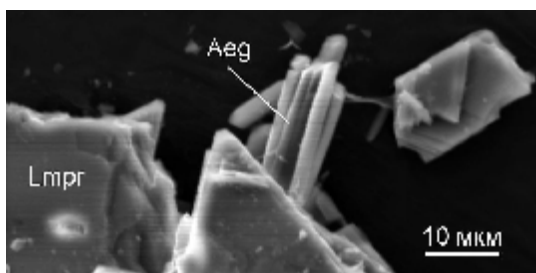


Рис. 4. Рост пучков эгирина (Aeg) на гранях лампрофиллита. Изображение во вторичных электронах.

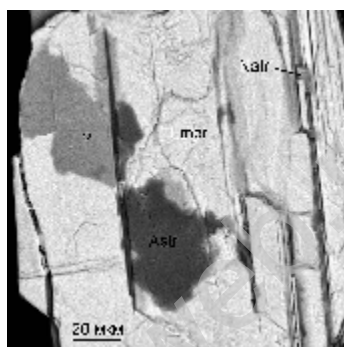
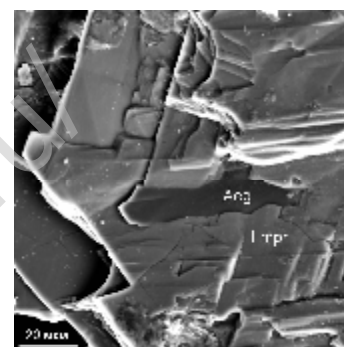


Рис. 5. Включения щелочных минералов различного облика в лампрофиллитах: а) астрофиллит (Astr), б) эгирин (Aeg). Изображение в обратнорассеянных электронах.



б) эгирин (Aeg). Изображение в обратнорассеянных электронах.

Диагностика минеральных видов была проделана по данным микрозондового анализа, проведенного в ИЭМ РАН, а лампрофиллитов — дополнительно по данным ИК-спектроскопии (проведена Н. В. Чукановым в ИПХФ РАН). Полученные ИК-спектрограммы полностью отвечают промежуточным членам ряда лампрофиллит—баритолампрофиллит [6]. Также диагностика была подтверждена по данным рентгенодифракционного анализа (сделан Б. А. Макеевым в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН). Последний показал высокую сходимость с данными ASTM и базами данных Ферсмановского музея и WWW-Mincrust (основные измеренные  $d [hkl]$  — 2.758 [221], 2.124 [131 и др.], 3.184 [600], 3.359 [311 и др.]).

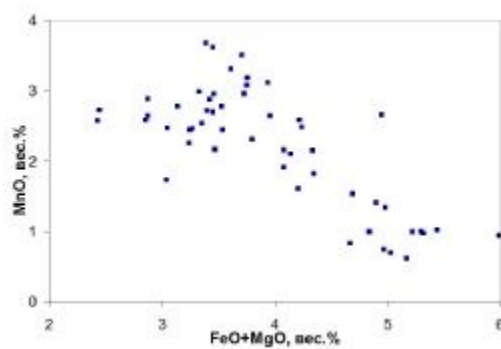
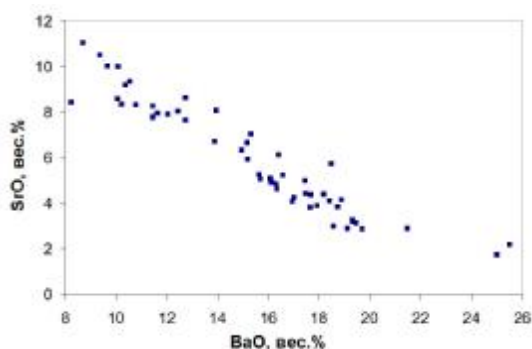


Рис. 6. Основные тренды составов лампрофиллитов:

а) в координатах BaO – SrO

б) в координатах FeO+MgO – MnO

По химизму лампрофиллиты представляют собой непрерывный изоморфный ряд (по

Ba-Sr отношению) от барийсодержащего лампрофиллита (с содержаниями BaO менее 9, а SrO — более 11 мас. %) до почти чистого баритолампрофиллита (содержание BaO до 25, а SrO — менее 2 мас. %). Корреляция между BaO и SrO практически линейна ( $R = -0.96$ , рис. 6 а), кроме того, наблюдаются достаточно устойчивые корреляции между  $K_2O$  и  $Na_2O$

( $R = -0.70$ ) и  $(FeO+MgO) - MnO$  ( $R = -0.79$ , рис. 6 б). Отметим, что составы лампрофиллитов сильно варьируют как между отдельными зёрнами, так и внутри минеральных индивидов, где нередко образуются зоны разного типа (пятна, линейные зоны, каймы), локально сильно обогащенные (или наоборот – обедненные) барием, причем в разной степени даже внутри одного зерна. Наиболее представительные (в том числе крайние) составы лампрофиллитов приведены в таблице 2 вместе с составами сопутствующих минералов. Включения последних в лампрофиллите и их срастания с ним нечасты, размер их достигает 30—40 мкм. Как правило, они представлены пластинчатыми фазами, лежащими между слоями лампрофиллита, реже встречаются игольчатые выделения (натролит и эгирин, рис. 3, 5а). Их сонахождение с лампрофиллитами указывает на высокощелочную обстановку минералогенеза.

**Таблица 2. Химический состав минералов высокощелочных ассоциаций**

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	BaO	SrO	F	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Сумма
1	29.77	29.04	0.25	3.38	3.11	0.56	1.03	10.23	2.00	8.70	11.05	1.63	0.02	100.77
2	28.97	28.87	0.46	3.32	1.57	0.78	1.48	9.41	1.70	10.13	8.96	2.05	0.28	97.98
3	29.53	28.44	0.77	2.77	2.77	0.76	0.81	8.90	2.51	14.94	6.34	1.57	0.48	100.59
4	29.64	27.32	0.07	2.79	2.47	0.26	0.93	9.04	3.11	17.46	4.99	1.37	1.24	100.69
5	28.53	27.48	0.11	4.29	0.69	0.74	1.07	8.86	2.63	19.70	2.86	1.43	0.25	98.64
6	27.66	25.44	0.42	3.29	3.08	0.46	0.63	6.92	2.34	24.99	1.74	1.91	0.00	99.06
7	37.77	13.19	0.45	22.60	5.34	3.58	2.22	2.45	6.51	1.07	0.53	0.31	0.16	96.18
8	34.37	14.15	0.45	24.14	9.25	2.81	2.07	1.98	7.03	0.00	0.00	0.00	0.86	97.12
9	36.23	14.26	0.60	19.98	4.10	5.64	2.15	3.39	7.30	1.18	0.00	0.00	0.51	95.48
10	47.57	0.82	26.32	0.03	0.19	0.00	0.28	14.86	0.39	0.06	0.00	0.30	0.00	90.81
11	49.90	0.80	0.57	29.53	0.37	0.58	1.39	14.43	0.18	0.11	0.12	0.37	0.00	98.34
12	52.00	2.33	0.64	28.97	0.43	0.50	0.66	12.88	0.07	0.30	0.82	0.00	0.00	100.90
13	4.46	11.21	0.00	0.84	0.00	0.00	11.63	8.05	1.10	4.61	3.31	6.39	40.41	95.91

Примечание: 1-6 — наиболее типичные составы минералов группы лампрофиллита, 7-9 — астрофиллит, 10 — натролит, 11-12 — эгирин, 13 — минерал семейства пироклора (в состав еще входит тантал — 3.89 мас.% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Анализы сделаны в ИЭМ РАН на электронном сканирующем микроскопе CamScan MV2300 с энергодисперсионным рентгеновским микроанализатором Link INCA-300 (железо рассчитано как суммарное FeO), химических измерений ОН-групп или воды не проводилось ввиду очень малых количеств минералов. Из анализов исключены элементы, содержание которых ниже погрешности определения для всех изученных зерен.

Отметим, что в районе Ельминского массива в аллювиальных шлиховых пробах был также диагностированы единичные зерна лопарита и обильный перовскит, которые косвенно могут свидетельствовать о наличии в районе зон с высокощелочными минеральными ассоциациями.

Предполагаются два возможных варианта формирования ультраагпаитовых минеральных ассоциаций в умеренно-щелочных габбро Ельминского массива, входящего в состав доуральских образований. Они могут свидетельствовать о проявлении на рубеже раннего—позднего венда в данном районе глубинной магматической активности в условиях мощной континентальной коры при небольшой степени частичного плавления неистощенного мантийного субстрата. Но не исключено, что они связаны с более поздними палеозойскими эндогенными событиями, например, гранитизацией.

### Литература

1. Хомяков А.П. Минералогия ультраагпаитовых щелочных пород. М.: Наука, 1990. 196 с.

2. Яковенчук В.Н., Иванюк Г.Ю., Пахомовский Я.А., Меньшиков Ю.П. Минералы Хибинского массива. М: Изд-во «Земля», 1999. 320 с.
  3. Кобяшев Ю.С. Список минералов Урала (Виды и разновидности) // Уральский геологический журнал, 2006. № 2(50). 265 с.
  4. Юшкин Н.П., Иванов О.К., Попов В.А. Введение в топоминералогия Урала. М.: Наука, 1986. 294 с.
  5. Соболева А.А., Кузенков Н.А., Удоратина О.В., Ларионов А.Н. Возраст габбро Ельминского массива (Северный Урал): результаты U-Pb датирования цирконов локальным методом // Изотопное датирование процессов рудообразования, магматизма, осадконакопления и метаморфизма: Материалы III Российской конференции по изотопной геохронологии. Т. II. М.: ГЕОС, 2006. С. 291—295.
- Чуканов Н.В., Моисеев М.М., Пеков И.В., Лазебник К.А., Расцветаева Р.К., Заякина Н.В., Феррарис Дж., Ивальди Г. Набалампрофиллит  $Ba(Na,Ba)\{Na_3Ti[Ti_2O_2Si_4O_{14}](OH,F)_2\}$  — новый слоистый титаносиликат группы лампрофиллита из щелочно-ультраосновных массивов Инагли и Ковдор, Россия // ЗВМО, 2004. № 1. С. 59—72.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ РЕДКИХ ЗЕМЕЛЬ В ПЕТРОХИМИЧЕСКИХ РАЗНОВИДНОСТЯХ КИМБЕРЛИТОВ

*Василенко В.Б.\*, Приходько В.Л.\*\*, Минин В.А.\*, Гейко Ю.В.\*\*, Кузнецова Л.Г.\*,  
Леснов Ф.П.\**

*\*Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия;*

*\*\*Северное государственное региональное геологическое предприятие «Пивничгеология»*

Исследование проведено по 99 опубликованным разными авторами содержаниям породообразующих оксидов и элементов редких земель (РЗЭ) в образцах кимберлитов из кимберлитовых провинций России и Северной Америки, а также Африки, Австралии и Индии. Все собранные анализы были распределены по петрохимическим разновидностям на основе популяционной петрохимической классификации кимберлитов. Корреляционный анализ показал наличие значительной сопряженности между средними содержаниями в петрохимических разновидностях породообразующих оксидов и элементов редких земель. Оказалось, что La и Pr положительно коррелируются с CaO. Тяжелые РЗЭ положительно коррелируются с TiO<sub>2</sub> и ΣFeO. Отношение суммарного содержания легких РЗЭ к суммарному содержанию тяжелых РЗЭ положительно коррелируются с CaO и отрицательно с MgO. Карбонатные разновидности кимберлитов обогащены легкими, а магнезиальные – тяжелыми РЗЭ. Наличие компонентов эклогитового парагенезиса приводит к обеднению кимберлитов легкими РЗЭ и продуцирует наличие отрицательных связей между SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Na<sub>2</sub>O с легкими РЗЭ. Авторы пришли к убеждению, что при решении петрологических проблем весьма эффективно рассматривать совместно распределение породообразующих и редкоземельных элементов.

Решение поставленной задачи существенно упрощается благодаря наличию петрохимической популяционной модели кимберлитовой формации [1-4]. В петрологическом обосновании этой модели важная роль отведена диопсиду, ильмениту, кальциту и флогопиту, которые являются основными минералами-концентраторами РЗЭ. Это дает возможность проследить поведение РЗЭ на разных стадиях формирования вещественного состава кимберлитов.

Корреляционные связи между РЗЭ и породообразующими оксидами изучены на материале коллекции химических составов кимберлитов, содержащей данные о концентрации породообразующих оксидов и РЗЭ отдельных образцов пород из разных кимберлитовых провинций. В коллекцию были включены анализы только наименее измененных пород кимберлитового клана. Принципы идентификации кимберлитов по химическому составу, использованные при отборе материала, изложены в работе [3].