

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ЗАМЕТКИ

Ю. А. БАЛАШОВ

ВАРИАЦИИ СОСТАВА И СОДЕРЖАНИЯ
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЭВДИАЛИТАХ

Эвдиалит — типичный и весьма распространенный минерал пород и пегматитов многих щелочных интрузий. Так, среднее содержание эвдиалита в урритах, фойяитах и лувритах дифференцированного комплекса Ловозерского щелочного массива составляет 2,0—2,7%. В эвдиалитовых лувритах того же массива концентрация эвдиалита поднимается до 9—13%, а в эвдиалититах — до 69% (Герасимовский и др., 1966). В Илимауссакском щелочном массиве (Южная Гренландия) эгириновые и амфиболовые лувриты, а также белые и черные какортокиты характеризуются содержанием 9—11% эвдиалита. В красных какортокитах концентрация этого минерала возрастает до 29% (Ferguson, 1964). Науяиты и пегматиты Илимауссакского массива несут переменные количества эвдиалита (до 5% и более). В аксессуарных количествах эвдиалит постоянно присутствует в нефелиновых сиенитах и пегматитах Хибинского массива. В последние годы эвдиалит обнаружен в фойяитах и пегматитах Юго-Восточной Тувы (Яшина, 1959), дайках щелочных сиенитов Таласского хребта (Козлова, 1959), трахитоидных сиенитах (до 7—10%), пегматитах (до 5—7%) и альбититах (до 30%) массива Бурпала (Портнов, 1964). Этот минерал известен в щелочных пегматитах Норвегии, Швеции, Канады и других районов (Семенов, 1963). В виде редкой вкрапленности эвдиалит отмечается также в жильных малиньитах и фенитах Турьего мыса (Бордин, Назаренко, 1957; Кухаренко и др., 1965) и ранних карбонатитах и фенитах Ковдорского ультраосновного щелочного массива (Капустин, 1964).

Редкоземельные элементы и иттрий (TR) являются постоянным, но второстепенным компонентом в составе эвдиалитов. Минимальная концентрация (0,09% TR_2O_3) этих элементов найдена в эвдиалитах Турьего мыса. Пегматиты и нефелиновые сиениты Хибинского, Ловозерского и других массивов обычно содержат 0,5—2,5% TR_2O_3 . Максимальные концентрации TR_2O_3 обнаружены в эвдиалитах из пегматитов Тувы — 10,2% (Семенов, 1963), Норра Керр в Швеции — 6,87% (Adamson, 1964), Бурпалы в Прибайкалье — 6,0% (Портнов, 1964), Ботогола — 5,88% и Енисейского Кряжа 5,72% (Семенов, 1963).

Весьма контрастны изменения и состава TR в эвдиалитах — от резкого преобладания легких лантаноидов в эвдиалите Инагли ($\Sigma Ce/\Sigma Y = 49$) или Енисейского Кряжа ($\Sigma Ce/\Sigma Y = 5,4$) до существенного обогащения тяжелыми и средними TR, а также иттрием в эвдиалитах Ботогола ($\Sigma Ce/\Sigma Y = 0,3$) или Ловозерского массива ($\Sigma Ce/\Sigma Y = 0,85 - 2,7$) (Балашов, Туранская, 1960₁, 1961; Семенов, 1963).

Благодаря значительной распространенности эвдиалита в массивах щелочных пород, особенно в агапитовых интрузиях, этот минерал является одним из главных концентраторов и носителей TR в нефелиновых сиенитах и их пегматитах, на долю которого часто приходится до 50—85% TR от суммы TR, сосредоточенных в породе (Герасимовский и др., 1966). Отсюда понятно, что изучение фракционирования TR в эвдиалитах — один из важнейших путей познания геохимии TR в щелочных массивах.

В настоящей работе приведены первые данные по составу и содержанию TR в эвдиалитах крупного щелочного агапитового массива Южной Гренландии — Илимауссакского, который по химическому, минеральному и петрографическому составам во многом близок к Ловозерскому (Герасимовский, Кузнецова, 1967). Образцы пород и пегматитов Илимауссака, из которых анализировали эвдиалиты, были собраны В. И. Герасимовским при посещении этого массива в 1964 г. Определение состава TR выполнено рентгеноспектральным методом в ГЕОХИ АН СССР после выделения суммы окислов TR по способу полумикроанализа (Варшал, Рябчиков, 1964). Данные приведены в таблице, в которую для сравнения включены также анализы TR вмещающих материнских пород и некоторые сведения о TR эвдиалитов и сопутствующих акцессорных редкоземельных минералов других щелочных массивов.

Сопоставление концентраций TR в эвдиалитах по опубликованным данным с анализами TR эвдиалитов Илимауссака позволяет отметить следующее:

1. Содержания TR в эвдиалитах из пород и пегматитов Илимауссака (1,60—2,85% TR₂O₃) близки к таковым из эвдиалитов Ловозерского массива (1,6—2,6% TR₂O₃).

2. Единственное исключение составляет эвдиалит из эгиринового луврита Илимауссакского массива (обр. 77018), в котором обнаружено резкое увеличение содержания TR₂O₃ (8,70%), что впервые отмечается для породообразующих эвдиалитов. Подобные концентрации TR до сих пор были известны лишь в эвдиалитах из пегматитов (5,72—10,2% TR₂O₃).

3. Намечается направленное увеличение содержания TR в эвдиалитах от науяитов и их пегматитов к какортгокитам и зеленым лувритам, синхронное с подобным ростом концентрации TR в самих породах.

По данным таблицы и анализов TR эвдиалитов Ловозерского и других массивов (Балашов, Туранская, 1960₁, 1961; Семенов, 1963; Герасимовский и др., 1966) построена сводная диаграмма вариаций состава TR в эвдиалитах (рис. 1) по методу семикомпонентных диаграмм для TR (Балашов, Шараськин, 1966), из которой следует:

1. Большинство составов TR эвдиалитов из пород и пегматитов Илимауссакского и Ловозерского массивов образуют единую линию эволюции соотношений четных лантаноидов, к которой примыкают и составы TR эвдиалитов Хибинского массива.

2. Составы TR эвдиалитов Ловозерского массива группируются в левой части диаграммы, а Илимауссакского — в правой, что свидетельствует об относительном обогащении первых тяжелыми, а вторых — легкими лантаноидами.

3. Ряд составов TR эвдиалитов из фойяитов (обр. 65,11 и 320) и лейкократового луврита (обр. 26а) верхней зоны северо-западного участка дифференцированного комплекса и пегматитов содалитовых пород (обр. 6, 7% и 1158) отклоняется от главной последовательности, образуя «дополнительную» серию. В эту же группу попадают эвдиалиты из эвдиалитового луврита (обр. 1279) Ловозерского массива и эгиринового луврита Илимауссака (обр. 77018). Можно полагать, что подобное изменение составов TR некоторых эвдиалитов обоих массивов — явление закономерное, так как кроме наших данных подтверждается и анализами (обр. 2, 6, 7 на рис. 1) Е. И. Семенова и Баринского (Семенов, 1963).

4. Составы TR эвдиалитов агапитовых массивов и Хибин занимают

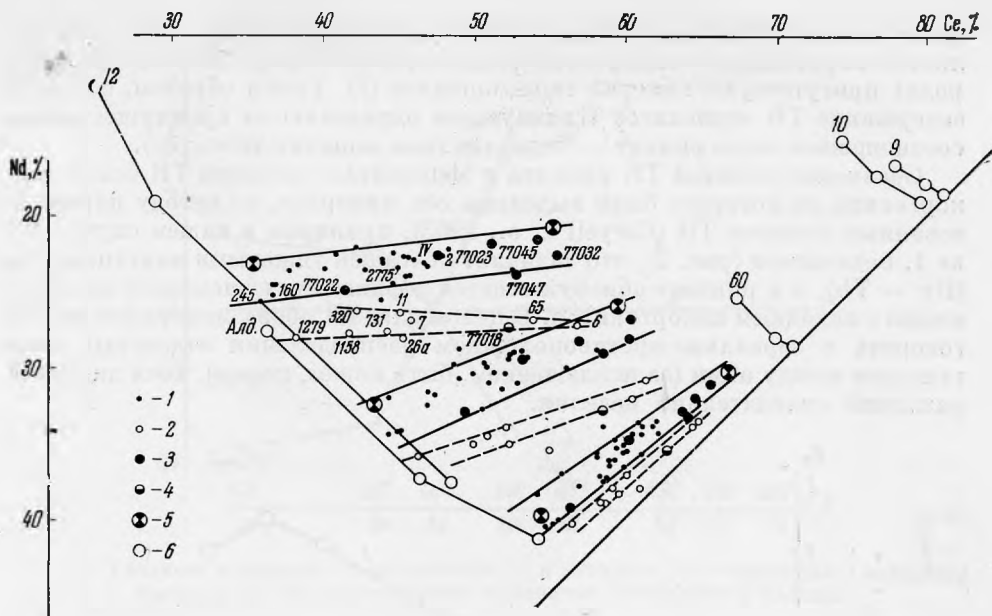


Рис. 1. Вариации в составе TR эвдиалитов из щелочных массивов

1 — пород и пегматитов Ловозерского массива (главная серия); 2 — то же, дополнительная серия; 3 — пород и пегматитов Илимауссакского массива (главная серия); 4 — то же, дополнительная серия; 5 — пегматитов Хибинского массива; 6 — других щелочных массивов: № 12 — Ботогол, № 9 — Тува, № 10 — Енисейский Кряж, Алдан — Инагли, Алдан (Семенов, 1963), № 60 — карбонатиты Ковдора (Жапутин, 1966)

промежуточное положение между эвдиалитами щелочных пегматитов Тувы и Енисейского Кряжа, а также карбонатитов Ковдора, обогащенных легкими TR, и эвдиалитами щелочных пегматитов Инагли и пегматитов щелочных гранитов Ботогола, обогащенных средними и тяжелыми TR.

Таким образом как по составу, так и по содержанию TR наиболее сходны между собой эвдиалиты Илимауссакского и Ловозерского массивов. К ним приближаются эвдиалиты Хибин. Вместе с тем в эвдиалитах агпайтовых массивов обнаруживаются вполне определенные, но меньшие по диапазону изменения состава TR.

Если различия в распределении TR между эвдиалитами агпайтовых массивов и других щелочных пород и пегматитов лишь предположительно могут быть связаны с контрастностью исходных составов TR и условий образования самих минералов в отдельных массивах, что специально никто не исследовал, то в отношении TR из эвдиалитов агпайтовых массивов это можно обосновать более определенно.

При близости средних химических составов Илимауссакского и Ловозерского массивов по главным петрогенным элементам в первом из них отмечается в три раза более низкая концентрация TiO_2 при более чем полуторакратном преобладании ZrO_2 (Герасимовский, Кузнецова, 1967). Значение соотношения этих окислов для распределения TR в породах и пегматитах обоих массивов определяется тем, что концентрациями титана и циркония по существу контролируется возможность появления и вариации в распределении главных аксессуарных минералов — концентратов TR (цирконосиликатов, титаносиликатов и ниобо-титанатов).

Относительный дефицит титана в Илимауссакском массиве обуславливает специфику его аксессуарной минералогии — отсутствие характерных для Ловозерского массива минералов титана, таких, как лопарит, ломоносовит, рамзаит и лампрофиллит, и подчиненную роль ринкита, энигматита и других минералов (Герасимовский и др., 1966). Из перечисленных мине-

ралов титана в Илимауссакском массиве главным концентратором TR является парагенный с эвдиалитом ринкит (20% TR_2O_3). В некоторых породах присутствуют минерал типа монацита (?). Таким образом, состав и содержание TR эвдиалитов Илимауссака определяются преимущественно соотношением пары ринкит — эвдиалит (или монацит-эвдиалит).

Сравнение составов TR ринкита и эвдиалита с составом TR белого какортокита, из которого были выделены оба минерала, по методу нормализованных составов TR (Cogyell а. о., 1963), принимаая в нашем случае Nd за 1, показывает (рис. 2), что эвдиалит обогащен тяжелыми лантаноидами (Dy — Yb), а в ринките обнаруживается дефицит этих элементов по сравнению с исходным какортокитом. В целом для TR обоих минералов можно говорить о зеркально-противоположном распределении отдельных лантаноидов между ними (за исключением, быть может, церия), хотя диапазон различий сравнительно невелик.

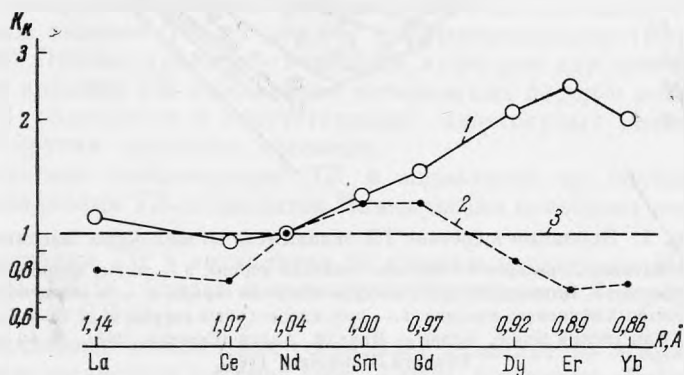


Рис. 2. Различие в составе TR эвдиалита (1) и ринкита (2) в сравнении с исходным составом (3) — TR белого какортокита (обр. 77047) Илимауссакского массива

В Ловозерском массиве главными концентраторами TR являются аксессуарный лопарит и эвдиалит, причем для лопарита отмечается достаточно постоянный состав TR с резким преобладанием самых легких лантаноидов. Сопоставление составов TR лопарита и эвдиалита с исходными составами TR фойяита и эвдиалитовых луавритов Ловозерского массива (рис. 3 и 4) показывает более контрастное фракционирование TR между обоими минералами, чем это наблюдалось для пары ринкит — эвдиалит, при аналогичном зеркально-противоположном распределении отдельных лантаноидов. Резкое разделение TR между лопаритом и эвдиалитом характерно и для луавритов и уртитов Ловозерского массива (см. табл. на стр. 118—119).

Можно утверждать поэтому, что причиной относительного обогащения тяжелыми TR ловозерских эвдиалитов в сравнении с эвдиалитами Илимауссака является контрастность разделения TR породы между эвдиалитом и лопаритом при селективном извлечении легких TR в ходе кристаллизации лопарита. Действительно, при близости средних составов TR рассмотренных эвдиалитовых луавритов Ловозерского массива ($\Sigma Ce / \Sigma Y = 4,5-5,3$) и белого какортокита Илимауссака ($\Sigma Ce / \Sigma Y = 4,4$) и сопоставимых концентрациях эвдиалита в этих породах (10—15% и около 10% соответственно) состав TR эвдиалитов оказался весьма различным. В эвдиалитах (обр. 160 и 245) из эвдиалитовых луавритов, несущих около 1% аксессуарного лопарита (Герасимовский и др., 1966), наблюдается обогащение тяжелыми лантаноидами (крайнее левое положение в ряду составов TR эвдиалитов агпайтовых массивов на рис. 1). Эвдиалит (обр. 77047) из белого какортокита, напротив, обогащен легкими TR (смещен вправо на главной эволюционной линии составов TR эвдиалитов агпайтовых массивов на рис. 1). К этому следует добавить, что эвдиалит из фойяита

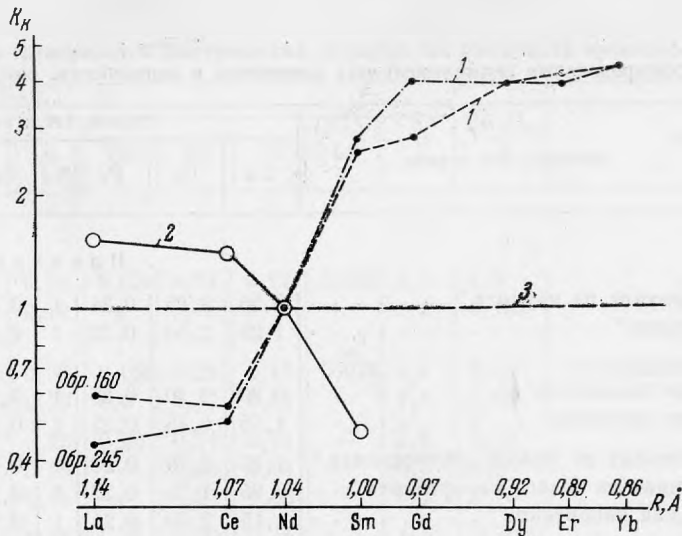


Рис. 3. Различия в составе TR эвдиалитов (1) и лопарита (2) в сравнении с исходным составом (3) TR эвдиалитовых люавритов Ловозерского массива

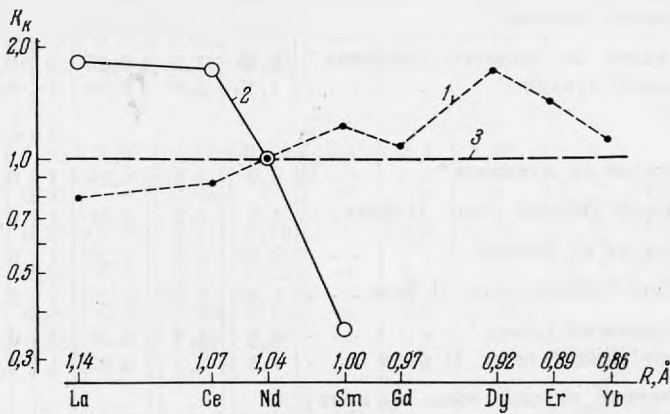


Рис. 4. Различия в составе TR эвдиалита 1 и лопарита 2 в сравнении с исходным составом 3 TR фойянта (обр. № 2775) Ловозерского массива

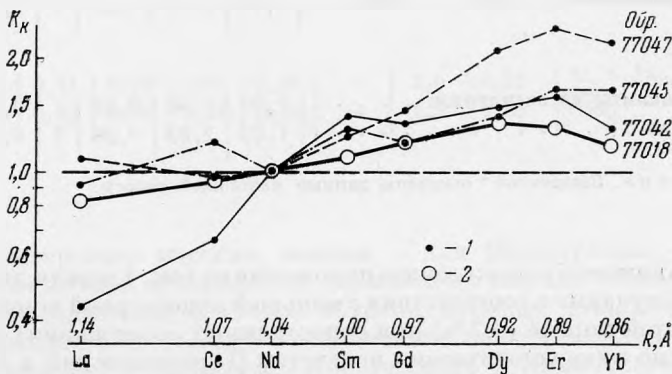


Рис. 5. Вариации состава TR в эвдиалитах из Илиммауссаковского массива в сравнении с исходными составами TR материнских пород;

1 — составы TR эвдиалитов из пород, содержащих акцессорный риннит или другие минералы-концентраты TR; 2 — состав TR эвдиалита из эгиринового люаврита

Распределение редкоземельных элементов в эвдиалитах, сопутствующих

Номер образца	Минерал или порода	Состав TR в относительных					
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu
И л и м а у с с а к с к и й							
77022	Эвдиалит из науянта *	0,55	1,65	0,24	1	0,31	0,027
—	Науянт *	1,25	2,50	0,22	1	0,22	0,031
Эвдиалигы*:							
77023	из пегматитов	0,90	2,30	0,25	1	0,26	0,020
77032	из науянтов	1,15	2,45	0,25	1	0,21	0,025
77047	Эвдиалит из белого какортокита *	1,25	2,20	0,26	1	0,24	0,028
—	Рипкит из белого какортокита *	0,95	1,75	0,27	1	0,23	0,016
—	Белый какортокит *	1,15	2,30	0,25	1	0,19	0,027
77045	Эвдиалит из красного какортокита *	1,20	2,50	0,32	1	0,27	0,024
—	Красный какортокит *	1,30	2,10	0,29	1	0,21	0,035
IV	Эвдиалит из красного какортокита	1,0	2,10	0,26	1	0,31	0,0
—	Красный какортокит	0,9	1,70	0,25	1	0,28	0,0
77018	Эвдиалит из зеленого луяврита *	0,95	1,9	0,25	1	0,23	0,015
—	Зеленый луяврит *	1,15	2,0	0,30	1	0,21	0,026
Л о в о з е р с к и й							
2771	Эвдиалит из луяврита *	0,9	1,8	0,24	1	0,29	0,0
2771	Луяврит нижней зоны, II фаза . .	1,9	3,2	0,31	1	0,11	—
2775	Эвдиалит из фойянта	0,95	2,0	0,26	1	0,28	—
—	Фойянт нижней зоны, II фаза . . .	1,20	2,30	0,25	1	0,23	—
2777	Эвдиалит из уррита *	0,9	1,9	0,26	1	0,30	—
—	Уррит нижней зоны, II фаза	1,8	3,3	0,33	1	0,15	—
—	Лопариты нижней зоны из луявритов	2,15	3,9	0,40	1	0,08	—
—	Эвдиалит из эвдиалитового луяврита	0,85	1,45	—	1	0,33	—
160	Лопарит из того же луяврита	2,2	3,7	0,37	1	0,08	—
—	Эвдиалитовый луяврит, III фаза . .	1,45	2,65	0,29	1	0,17	—
Х и б и							
—	Эвдиалиты из пегматитов	0,70	1,50	0,23	1	0,34	—
—	То же *	1,25	2,60	0,26	1	0,20	—

Примечание. Звездочкой * отмечены данные настоящей работы.

(обр. 2775) занимает промежуточное положение на рис. 1 между двумя перечисленными случаями в соответствии с меньшей акцессорной концентрацией лопарита в этой породе (0,2%) при сопоставимых содержаниях эвдиалита (10%) согласно минералогическим подсчетам (Герасимовский и др., 1966).

Различие в составе TR эвдиалитов Ловозерского и Илимауссакского массивов логично связывать с разной степенью фракционирования TR между ведущими акцессорными минералами. Разделение TR больше для

акцессорных минералах и материнских породах из щелочных массивов

величинах к Nd = 1								TR ₂ O ₃ , %	Автор
Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	Y		

м а с с и в

0,32	0,07	0,28	0,070	0,24	0,17	0,035	2,0	1,6	—
0,24	0,05	0,19	—	0,15	0,13	—	1,4	0,185	—
0,29	0,05	0,30	0,055	0,21	0,15	0,018	1,7	2,85	—
0,25	0,04	0,20	0,0	0,17	0,14	—	1,6	2,80	—
0,22	0,05	0,23	0,06	0,17	0,11	—	1,5	2,20	—
0,18	—	0,09	—	0,05	0,04	—	0,5	20,0	—
0,15	—	0,11	—	0,07	0,05	—	0,7	0,16	—
0,24	0,06	0,25	0,05	0,20	0,15	—	1,7	2,80	—
0,20	0,04	0,18	—	0,12	0,09	—	1,0	0,42	—
0,31	0,08	0,30	0,08	0,22	—	—	2,5	—	Ю. А. Балашов (1963)
0,22	0,04	0,24	0,06	0,14	0,16	—	1,3	0,59	
0,19	0,04	0,15	0,04	0,09	0,07	—	0,95	8,70	—
0,16	—	0,11	—	0,07	0,06	—	0,80	0,62	—

м а с с и в

0,27	0,07	0,33	0,08	0,21	0,14	—	2,1	2,26	—
0,08	—	0,07	—	0,04	—	—	—	—	Ю. А. Балашов, Н. В. Туранская (1960 ₂)
0,30	0,06	0,39	0,09	0,24	0,19	—	2,4	2,34	В. И. Герасимовский и др. (1966)
0,28	0,04	0,23	0,05	0,17	0,22	—	1,7	—	Ю. А. Балашов, Н. В. Туранская (1960 ₂)
0,29	0,08	0,09	0,09	0,20	0,13	—	2,1	2,00	—
0,06	—	0,05	—	0,02	0,01	—	0,2	—	Ю. А. Балашов, Н. В. Туранская (1960 ₂)
—	—	—	—	—	—	—	—	—	В. И. Герасимовский и др. (1966)
0,36	—	0,42	0,10	0,24	0,17	—	2,2	2,48	Ю. А. Балашов, Н. В. Туранская, 1960 ₁
—	—	—	—	—	—	—	—	30,1	
0,12	0,03	0,15	0,04	0,07	0,07	—	0,8	—	Ю. А. Балашов, Н. В. Туранская (1961)

н ы

0,40	0,10	0,47	0,09	0,30	0,25	—	2,6	0,51	Ю. А. Галашов, М. Д. Дорфман, Н. В. Туранская (1965)
0,25	0,05	0,35	0,08	0,21	0,14	—	1,7	1,80	

пород Ловозерского массива, меньше — для Илимауссака, что в итоге является следствием особенностей химического состава обоих массивов.

Менее определены факторы, обуславливающие отклонения ряда составов эвдиалитов от главной эволюционной последовательности, наблюдаемые в породах и пегматитах Ловозерского и Илимауссаковского массивов. Можно предположить, что смещение в составе TR подобных эвдиалитов в сторону обогащения легкими TR (прежде всего Nd-смещение вниз от

главной линии составов TR на рис. 4) связано с отсутствием в парагенезисе с эвдиалитом редкоземельных аксессуариев, способных конкурировать с эвдиалитом по концентрированию TR. Такой вывод напрашивается для эвдиалита из эгириновых луювритов Илимауссака (обр. 77018). В этой породе отсутствуют другие, кроме эвдиалита, аксессуарные концентраты TR. Вследствие этого состав TR эвдиалита приближается к составу TR самой породы и характеризуется при этом достаточной монотонностью по сравнению с эвдиалитами из других пород (рис. 5), а сумма TR в минерале резко возрастает до 8,7% TR_2O_3 .

Подобное объяснение можно допустить и для эвдиалита из центральных частей некоторых фойяитов и из пегматитов Ловозерского массива, когда они не содержат или имеют ничтожную вкрапленность аксессуарного лопарита или других концентратов TR. В соотношении TR таких эвдиалитов должна возрастать роль легких лантаноидов и сумма TR, что часто и наблюдается, хотя и не столь контрастно, как в эвдиалите Илимауссака.

Автор благодарит В. И. Герасимовского за предоставленные образцы эвдиалитов.

ЛИТЕРАТУРА

- Б а л а ш о в Ю. А., Т у р а н с к а я Н. В. 1. Особенности состава р. з. э. в эвдиалитах и лопаритах Ловозерского массива.— *Геохимия*, 1960, № 2.
- Б а л а ш о в Ю. А., Т у р а н с к а я Н. В. 2. Закономерности распределения р.з.э. в породах дифференцированного комплекса Ловозерского щелочного массива в связи с некоторыми вопросами генезиса этого комплекса.— *Геохимия*, 1960, № 8.
- Б а л а ш о в Ю. А., Т у р а н с к а я Н. В. Редкоземельные элементы в эвдиалитовом комплексе Ловозерского щелочного массива.— *Геохимия*, 1961, № 12.
- Б а л а ш о в Ю. А. Дифференциация р. з. э. в магматическом процессе.— Сб. «Химия земной коры», т. I. Изд-во АН СССР, 1963.
- Б а л а ш о в Ю. А., Д о р ф м а н И. Д., Т у р а н с к а я Н. В. Отделение церия от р. з. э. при выветривании эвдиалита.— *Труды Минерал. музея АН СССР*, 1965, вып. 16.
- Б а л а ш о в Ю. А., Ш а р а с ь к и н А. Я. Применение семикомпонентных диаграмм для анализа эволюции составов р. з. э. в природных системах.— *Геохимия*, 1966, № 12.
- Б о р о д и н Л. С., Н а з а р е н к о И. И. Эвдиалит из щелочных пород Турьего мыса и химическая формула эвдиалита.— *Докл. АН СССР*, 1957, 112, № 2.
- В а р ш а л Г. М., Р я б ч и к о в Д. И. Гравиметрическое определение суммы р. з. э. в породах, минералах и сплавах.— *Ж. англ. химии*, 1964, 19, вып. 2.
- Г е р а с и м о в с к и й В. И., В о л к о в В. П., К о г а р к о Л. Н., П о л я к о в А. И., С а п р ы к и н а Т. В., Б а л а ш о в Ю. А. *Геохимия Ловозерского щелочного массива*. Изд-во «Наука», 1966.
- Г е р а с и м о в с к и й В. И., К у з н е ц о в а С. Я. Химический состав пород Илимауссака щелочного массива.— *Геохимия*, 1967, № 3.
- К а п у с т и н Ю. Л. Аксессуарная редкометаллическая минералогия карбонатитов Кольского полуострова.— Сб. «Минералогия и генетические особенности щелочных массивов». Изд-во «Наука», 1964.
- К а п у с т и н Ю. Л. *Геохимия р. з. э. в карбонатитах*.— *Геохимия*, 1966, № 11.
- К о з л о в а П. С. Эвдиалит из щелочных сиенитов Таласского хребта.— *Труды Минерал. музея АН СССР*, 1959, вып. 10.
- К у х а р е н к о А. А., О р л о в а М. П., Б у л а х А. Г. и др. Каледонский комплекс ультраосновных щелочных пород и карбонатитов Кольского полуострова и Северной Карелии. Изд-во «Недра», 1965.
- П о р т н о в А. М. Эвдиалиты массива Бурпала и особенности распределения в них р. з. э.— *Геохимия*, 1964, № 9.
- С е м е н о в Е. И. *Минералогия редких земель*. Изд-во АН СССР, 1963.
- Я ш и н а Р. М. О находке эвдиалита в щелочных породах Юго-Восточной Тувы.— *Докл. АН СССР*, 1959, 129, № 3.
- A d a m s o n O. J. The petrology of the Norra Kärr district.— *Geol. fören. i Stockholm föhandl.*, 1944, 66, N 2.
- C o r y e l l Ch. D., C h a s e J. W., W i n c h e s t e r J. W. A procedure for geochemical interpretation of terrestrial rare-earth abundance patterns.— *J. Geophys. Res.*, 1963, 68, N 2.
- F e r g u s o n J. The Ilimaussag alkaline intrusion, South Greenland.— *Medd. Gronland.*, 1964, 167, N 4.