

## ОРТИТ ИЗ СКАРНОВ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА

А. Д. НОЖКИН, В. З. МУСТАФИН

(Представлена кафедрой полезных ископаемых)

Ортит является одним из наиболее широко распространенных изоморфных редкоземельных минералов. Известно [4, 12, 13], что такие минералы являются хорошими геохимическими индикаторами эндогенных процессов. Поэтому накопление фактического материала по физико-химической их характеристике в породах различного генезиса представляет существенный интерес.

Наиболее полно охарактеризованы ортиты из магматических пород кислого состава и пегматитов. Для них установлена определенная закономерность в изменении химического состава и некоторых других свойств в зависимости от условий образования. Сведения об ортитах из пород другого генезиса недостаточны. Имеются, например, указания на находки ортитов в контактово-метасоматических месторождениях у А. Г. Бетехтина [2] и Э. У. Хейнриха [20]. Относительные соотношения редкоземельных элементов группы церия в ортитах из контактово-метасоматических и жильных пород приводятся в работе Э. И. Вайнштейна и др. [4].

В данной статье описывается ортит, обнаруженный А. Д. Ножкиным на одном из скарных проявлений Енисейского кряжа.

### Краткая характеристика ортитосодержащих скарнов

Ортитосодержащие скарны развиты в контакте красных порфировидных гранитов Уволго-Нагатинского типа с известняками пенченгинской свиты протерозоя. Состав скарных пород непостоянен и изменяется по мере удаления от гранитов. В непосредственной близости с гранитами располагаются гранат-магнетитовые скарны. На некотором удалении от интрузии начинают преобладать гранат-пироксеновые и пироксеновые породы, нередко вмещающие более мелкие тела магнетита. С еще большим удалением от контакта в составе пироксен-гранатовых скарнов в заметном количестве присутствуют минералы группы эпидота, амфибола. В них наблюдаются многочисленные участки мраморов и слабоскарнированных пород, которые постепенно переходят в мраморизованные известняки.

Поскольку ортит встречается в скарнах сравнительно редко, следует остановиться на их минералогической характеристике, чтобы показать взаимоотношения описываемого минерала скарнов и, следовательно, определить его место в общем скарном процессе.

Гранат-андрадит — один из наиболее распространенных минералов скарнов. Цвет минерала бурый. Твердость менее 7. Под микроскопом он имеет светло-розовый цвет, изотропен. Зерна изометричные, размеры их не превышают 1-1,5 мм. Наряду с магнетитом он является одним из наиболее ранних образований. Судя по пересечению магнетитовых тел жилками с гранатом, можно заключить, что процесс образования граната был длительным.

Пироксен-диопсид присутствует в переменном количестве во всех типах скарнов. Форма зерен неправильная, реже таблитчатая с изъеденными краями. Размеры их изменяются в пределах 0,1—1 мм. Нередко внутри зерен пироксена наблюдаются реликты граната. Минерал заметно плеохроирует от светло-голубовато-зеленого до бесцветного. Произведенное исследование нескольких зерен пироксена на Федоровском столике дало  $2V = +62^\circ$ ,  $cN_g = 42^\circ$ ,  $N_g - N_D = 0,029$ , что определяет его как диопсид, содержащий около 15% геденбергитовой молекулы.

Ортит встречается в скарнах в ассоциации с диопсидом, клиноцоизитом, роговой обманкой. Вследствие почти повсеместного обрастания ортита клиноцоизитом и эпидотом, трудно установить его взаимоотношения с другими минералами. Тем не менее в нескольких случаях удалось наблюдать, что диопсид обрастает зерна описываемого минерала (рис. 1), нередко проникает внутрь их. Это свидетельствует о более раннем образовании ортита по сравнению с диопсидом.



Рис. 1. Кристалл ортита (1) обрастается диопсидом (2). Николи +, 40 х.

Клиноцоизит в заметном количестве наблюдается только в ассоциации с ортитом. Форма зерен таблитчатая, максимальные размеры их не превышают 1,5 мм. Минерал обладает совершенной спайностью по (001) и заметной по (100). В скрещенных николях клиноцоизит имеет пятнистую окраску: серо-синеватую до

светло-желтой и оранжевой. Низкие интерференционные цвета преобладают. Надежность определения клиноцоизита подтверждается большим углом  $2V (+96^\circ)$ ,  $cN = 6^\circ$ .

Весьма характерно, что кристаллы клиноцоизита окружают ортит и его оптическая ориентировка близка к ортиту. Отмечаются незначительные расхождения в углах погасания зерен. Клиноцоизитом нередко замещается ортит, отчего последний утрачивает свои отчетливые контуры, а переход от ортита к клиноцоизиту становится постепенным.

Роговая обманка в скарнах присутствует в подчиненном количестве. Форма зерен неправильная, средние размеры их составляют 0,1—0,5 мм. Плеохроизм выражен резко:  $N_g$  — светлая серовато-коричневая окраска,  $N_m$  — коричнево-зеленая,  $N_p$  — темная грязно-зеленая с буроватым оттенком. Максимальный угол погасания по отношению к спайности —  $23^\circ$ .

У кристаллов роговой обманки, находящихся вблизи ортита, наблюдаются существенные изменения в характере плеохроизма. Проявляются они в сгущении окраски до темных, почти черных тонов на периферии

той части кристалла, которая обращена в сторону ортита. Подобные изменения, вероятно, вызваны действием радиоактивного излучения и по своему характеру аналогичны тем, какие наблюдаются в типичных плеохроичных двориках.

Роговая обманка интенсивно замещает все вышеописанные минералы. Внутри ее зерен нередко можно видеть реликты пироксена, клиноцоизита и др. минералов.

Как следует из приведенного описания, по минералогическому составу скарны относятся к светлым маложелезистым разностям согласно классификации Ф. Н. Шахова [21].

Интрузивные породы, с которыми генетически связаны ортитоносные скарны, представлены красными и розовато-серыми средне- и крупнозернистыми порфиroidными гранитами. Под микроскопом установлено, что сложены они на 25—30% альбит-олигоклазом № 12, ортоклазом (до 30%), микроклином (10—15%), кварцем (20—25%), биотитом (до 5%). Из аксессуарных минералов присутствует эпидот, турмалин, монацит, апатит. Структура породы гранитная.

### Физические свойства и оптическая характеристика ортита

Описываемый минерал присутствует в породе в виде кристаллов, средний размер которых изменяется в пределах 0,2-1,5 мм.

Окраска минерала медово-желтая до бурой, иногда почти черная. Излом раковистый, блеск смоляной, твердость около 5,5. Удельный вес, определенный методом гидростатического взвешивания, равен 3,71.

При микроскопическом исследовании прозрачных шлифов обнаруживаются зерна минерала довольно четких кристаллографических очертаний. В наблюдаемых сечениях кристаллов можно предположить наличие граней следующих форм (100), (001), реже (201).

Плоскость оптических осей параллельна (010), угол  $cN^d$  изменяется от 24 до 34°, что соответствует данным, приведенным для ортита Винчеллом [5]. Двойники по плоскости (100) появляются довольно часто (рис. 2). Минерал двусосный, отрицательный. Угол оптических осей ра-



Рис. 2. Агрегат зональных сдвоенных кристаллов ортита. Николи +, 50 х.

вен 66°. Показатели преломления  $N_g$ —1,738,  $N_p$ —1,716. Значение  $N_m$  вычислено по графику А. И. Болдырева [3] и номограмме Мерти [19]:  $N_m = 1,730$ ,  $N_r - N_p = 0,022$ .

Для описываемого ортита весьма характерна зональность кристаллов. Проявляется она в чередовании разноокрашенных зон, каждая из

которых обладает качественно отличным плеохроизмом. Зоны, как правило, параллельны контурам кристалла. Чаще всего в кристалле наблюдается четыре отчетливо выраженные зоны. Центральная—обычно имеет довольно изменчивую пятнистую окраску и чаще плеохроирует от светлого желто-коричневого до темного зеленовато-коричневого цвета. Следующая—широкая, плеохроирует от почти бесцветного до золотисто-желтого. В направлении к периферии она сменяется коричневой зоной шириной 0,1—0,05 мм. Внешняя узкая зона также желтая, по характеру плеохроизма аналогичная уже описанной подобной окраски. Отмеченные зонки в свою очередь характеризуются неоднородным строением, каждая из них представляет собою серию гораздо более тонких зон, несколько отличающихся по интенсивности окраски. Бросается в глаза заметное уменьшение ширины зонок вкрест удлинения кристаллов по сравнению с их шириной на концах. Схема абсорбции по осям индикатрисы  $N_g > N_m > N_p$ . Оптическая ориентировка отдельных зон несколько разнится, что обуславливает поочередное их угасание. Наблюдаются кристаллы, в которых вначале гаснут внешняя и центральная зоны, затем при вращении зерна в том же направлении через 15—25° гаснут промежуточные. В широких зонах нередко можно наблюдать тонкие трещинки радиальной ориентировки (рис. 3). Прослеживаются

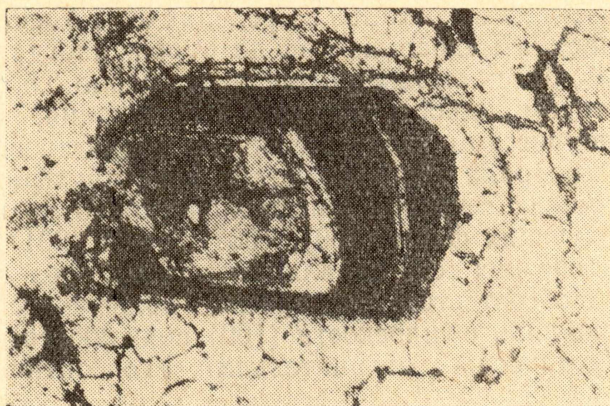


Рис. 3. Отчетливо зональный кристалл ортита замещается клиноцозитом (светлое); в зонах заметна трещиноватость. Николи +, 40 х.

они только в пределах одной зонки, напоминая в этом отношении трещины дегидратации колломорфных образований.

#### Рентгенометрические исследования и химический состав ортита

Для полноты диагностики ортита из скарнов в лаборатории кафедры физики Томского политехнического института Л. К. Гульцевой выполнены рентгенометрические исследования, результаты которых приведены в табл. 1.

Рентген-съемка проводилась в камере диаметром 57,3 мм на железном и молибденовом излучении. Условия съемки: железный антикатод  $V = 35 \text{ кВ}$ ,  $I = 14 \text{ мА}$ , молибденовый антикатод  $V = 50 \text{ кВ}$ ,  $I = 15 \text{ мА}$ .

Небольшое количество линий и их пониженная интенсивность на дебаеграммах, вероятно, являются результатом нарушения кристаллической структуры минерала под действием радиоактивного излучения урана и тория. Известно, что минералы, содержащие радиоактивные элементы, чаще находятся в измененном состоянии [5, 20]. Э. У. Хейнрих [20]

утверждает, что для ортита наиболее отчетливо получаются три линии: 2,95; 3,51; 2,68. По данным О. Н. Ложниковой и С. Я. Яковлевой [7], для многих ортитов рентгенограммы не удается получить даже после прокаливания. Описываемый ортит также подвергался В. А. Ермолаевым неоднократным рентгенометрическим исследованиям после прокаливания при температуре 800° в течение 8 часов. Однако удовлетворительных результатов получено не было.

Таблица 1

Ортит Г. А. Сидоренко [16]		Ортит (Калифорния) О. Н. Ложникова и др [7]		Ортит из Енисейского края		Ортит Г. А. Сидоренко [16]		Ортит из Енисейского края	
<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>
3,51	6	3,57	6	3,56	5	1,438	7	—	—
—	—	3,26	4	—	—	1,406	6	—	—
3,18	5	—	—	3,14	4	1,381	2	—	—
—	—	2,94	10	—	—	1,247	4	1,248	2
2,88	10	2,85	4	2,88	10	1,165	3	1,166	3
—	—	2,74	6	—	—	1,099	3	—	—
2,68	8	2,65	8	2,67	6	1,091	3	—	—
2,59	5	2,57	4	—	—	1,081	3	—	—
2,38	2	—	—	—	—	1,064	3	1,066	5
2,29	2	—	—	2,25	3	1,050	2	1,057	3
—	—	2,19	4	—	—	1,035	3	—	—
2,14	3	2,14	4	—	—	0,9958	4	—	—
1,93	1	1,91	4	—	—	0,9878	2	0,9871	3
1,876	7	—	—	—	—	—	—	0,9031	2
1,784	1	—	—	—	—	—	—	0,8785	2
1,751	2	—	—	—	—	—	—	0,8488	2
1,632	9	1,65	6	1,634	2	—	—	0,7931	2
1,576	4	—	—	—	—	—	—	—	—
1,556	3	—	—	—	—	—	—	—	—
1,450	1	—	—	—	—	—	—	—	—

Химический состав ортита определен И. П. Гореловым в лаборатории кафедры неорганической химии Томского государственного университета. Результаты анализа и пересчет их на кристаллохимическую формулу по В. С. Соболеву [17] сведены в табл. 2. Для сравнения химического состава ортита из скарнов с составом ортитов из других месторождений в табл. 3 приводятся данные, взятые из некоторых опубликованных работ [1, 6, 9, 10, 14, 18, 22, 23].

Как следует из табл. 3, ортиты из разных пород характеризуются довольно изменчивым химическим составом, что вполне согласуется с мнениями, имеющимися в литературе.

Описываемый ортит обладает высоким содержанием таких окислов, как  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $TiO_2$ , а также щелочей  $Na_2O$  и  $K_2O$ . Для минерала характерно несколько пониженное количество редких земель. Суммарное содержание последних в ортитах из гранитов и пегматитов обычно ко-

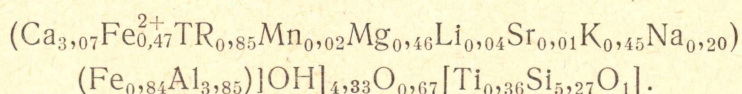
леблется в пределах 14-22%. Правда, В. В. Ляхович [8] указывает на более широкие пределы колебаний содержания редких земель в этом минерале (2,44-19,22%). При этом наиболее низкие содержания  $TR_2O_3$  определяют, по его мнению, принадлежность минерала не к собственно ортиту, а к переходной разности типа эпидот-ортита. К подобному же выводу несколько раньше пришел А. И. Баженов [1].

Таблица 2

Окислы	Весовые %	Молекулярные количества кислорода	Атомные количества кислорода	Число атомов кислорода, расчит. на 26	Атомное количество катионов	Число атомов катионов
$\Sigma O_2$	31,0	516	1032	10,54	516	5,27
$TiO_2$	2,8	35	70	0,72	35	0,36
$Al_2O_3$	19,3	378	567	5,78	756	3,85
$Fe_2O_3$	6,6	82	123	1,26	164	0,84
$FeO$	3,3	46	46	0,47	46	0,47
$CaO$	16,9	301	301	3,07	301	3,07
$MgO$	1,8	45	45	0,46	45	0,46
$MnO$	0,15	2	2	0,02	2	0,02
$\Sigma TR_2O_3$	13,5	42	126	1,28	84	0,85
$ThO_2$	0,6	2	4	0,04	2	0,02
$UO_2$	0,04	—	—	—	—	—
$Li_2O$	0,3	2	1	0,01	4	0,04
$SrO$	0,12	1	1	0,01	1	0,01
$Na_2O$	0,3	10	5	0,05	20	0,20
$K_2O$	1,0	22	11	0,11	44	0,45
$\Sigma H_2O (OH)$	1,9	212	212	2,17	424	4,33
Сумма . . .	99,61		2546	26		

Общий делитель: 2546: 26=97,9

Кристаллохимическая формула:



По содержанию  $Al_2O_3$  и  $CaO$  енисейский ортит приближается к редкоземельным эпидотам. В то же время он резко отличается от последних повышенным количеством других компонентов, в частности редких земель, урана и тория, а также оптическими и другими свойствами. Повышенные же содержания  $Al_2O_3$  и  $CaO$  можно объяснить тем, что ортит находится в тесном сростании с клиноцоизитом и эпидотом, замещается ими. По этой причине не исключается загрязненность пробы ортита названными минералами.

Содержания  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$  и  $H_2O$  не выходят за пределы средних их значений в ортитах из других пород. Весьма показательно, что содержание воды хорошо увязывается с графиком зависимости удельного веса ортитов от содержания воды. Количеству воды 1,9% в нашем ортите соответствует разновидность минерала с удельным весом 3,68 из графика Х. Г. Темпеля [18]. Удельный вес описываемого ортита 3,71. Эта

Химические анализы ортитов и эпидотов из пород различного состава.

О р т и т ы											Эпидоты	
местность	описываемый ортит	Плауеншен-грунд	Алакертти	Кавказ, Мегринский плутон	р. Малая Лаба	Мозамбик	Конвей			Сев. Урал	Алтай	
Состав пород	скарн	Сиенит	пегматит	полевошпат-амфибол пегматит	актинолитит	гранито-гнейс	гранодиорит	гранит		пегматит	гидротерм. жилы	
Ссылка		Х. Г. Темпель [18]	А. П. Калита [6]	Б. М. Меликсетян [9]	В. В. Плоско [14]	Correia neves [22]	Smith и др. [23]			Д. А. Минеев [10]	А. И. Баженов [1]	
Окислы												
1	2	3	4	5	6	7	8			9	10	
SiO <sub>2</sub>	31,0	31,09	30,68	32,09	30,96	34,10	30,35	26,05	29,75	37,78	34,84	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,3	16,47	16,5	14,83	18,24	22,20	7,56	7,54	8,42	23,98	29,71	
CaO	16,9	10,10	5,16	11,29	11,86	15,22	12,90	10,45	8,95	21,16	14,27	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,6	4,50	4,07	8,11	5,64	—	18,14	17,01	20,68	8,63	7,85	
FeO	3,3	9,30	9,68	7,90	4,93	8,54	—	—	—	3,56	8,12	
MgO	1,8	1,74	0,20	1,73	2,45	2,27	1,43	0,81	0,91	—	—	
MnO	0,15	0,92	6,28	0,49	0,08	0,68	0,38	0,58	0,31	0,29	1,08	
ZnO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,15	
TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,5	22,60	23,34	20,82	17,08	15,23	25,55	30,17	26,43	1,36	1,41	
ThO <sub>2</sub>	0,6	—	0,90	1,28	2,28	1,30	1,2	0,92	0,76	0,006	—	
UO <sub>2</sub>	0,04	—	—	0,012	—	—	0,0036	0,0540	0,0400	0,15	—	
TiO <sub>2</sub>	2,8	0,63	0,34	0,11	0,2	0,15	—	—	—	0,07	0,51	
Li <sub>2</sub> O	0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
SrO	0,12	—	—	—	0,52	—	—	—	—	0,64	—
Na <sub>2</sub> O	0,3	0,23	—	0,16	0,33	0,20	—	—	—	—	—
K <sub>2</sub> O	1,0	0,38	—	0,27	—	—	—	—	—	—	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	—	—	—	2,10	0,07	—	—	—	—	—
Сумма											
H <sub>2</sub> O (ОН)	1,9	2,21	2,35	0,95	3,06	—	2,0	5,60	2,40	2,94	1,72
Общая сумма	99,61	100,17	99,50	100,11	99,73	99,95	99,51	99,18	98,61	100,41	99,66



цифра вполне укладывается и в пределы значений удельного веса ортитов в зависимости от суммы присутствующих в них редких земель [5, 18]. Заслуживает внимания и факт обнаружения стронция, который в приведенных анализах отмечается лишь В. В. Плошко [14] и Д. А. Минеевым [10], а также лития, сравнительно редкого для ортитов элемента.

Ортит, как известно, является радиоактивным акцессорным минералом. Отчетливые радиографии ортитсодержащих скарновых штуфов на рентгеновской пленке получены при экспозиции в 5—6 суток. Микрорадиографическим исследованием прозрачных шлифов с ортитом при экспозиции в 25 суток обнаруживается равномерное умеренно-частое распределение следов пробега альфа-частиц, свидетельствуя о том, что радиоактивный элемент изоморфно входит в кристаллическую решетку и не является, следовательно, составной частью механической примеси. Данные колориметрических и перлово-люминесцентных анализов показали, что радиоактивность нашего ортита объясняется не только торием, но и присутствием урана. На необходимость определения в ортитах урана, наряду с торием при геохимических исследованиях указывает, в частности Д. С. Минеев [11]. По его мнению, ортит является комплексным минералом в отношении содержания не только редких земель, но и урана и тория. Действительно, анализируя индивидуальный состав редких земель (табл. 4), нетрудно заметить, что в описываемом минерале наряду с цериевыми землями заметную роль играют и элементы иттриевой группы. При этом кривая количественных соотношений редкоземельных элементов в ортите (рис. 4) характеризуется двумя четкими

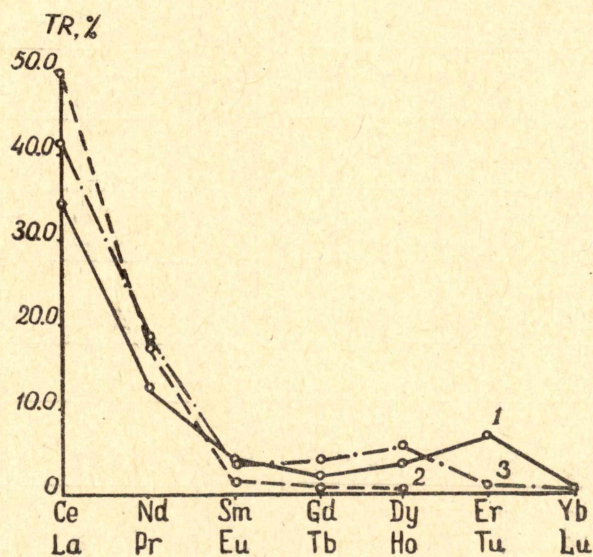


Рис. 4. График количественных соотношений редкоземельных элементов в ортитах из пород разного генезиса: 1 — ортит из скарнов, 2 — ортиты из гранитов, 3 — ортиты из пегматитов.

максимумами как для церия, так и для эрбия (в иттриевой группе). Уместно отметить, что вообще редкоземельные минералы, имеющие четкий максимум на эрбий, редки. Д. А. Минеев, описывая редкоземельный эпидот [10], впервые указал на четкий эрбиевый максимум.

Весьма характерно, что ортиты из гранитов содержат исчезающе низкое количество редких земель иттриевой группы (табл. 4). В пегматитах их содержание заметно повышается, и именно в этих породах был

Состав и содержание редких земель в ортитах из пород разного генезиса

Название породы	Месторождение	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	$\Sigma TR_{Ce}$	$\Sigma TR_Y$	Ссылка
Скарн	Енисейский край	28,69	35,15	5,10	12,52	3,97	0,25	0,55	2,04	3,40	0,23	7,03	0,11	0,55	0,11	86,33	13,47	
Граниты	Вост. Забайкалье	25,0	49,0	6,0	18,0	1,2	—	0,6	0,1	—	—	—	—	—	—	99,3	0,6	В. В. Ляхович [8]
	ДВК, Шмаковский массив	22,0	50,0	6,8	19,0	1,4	0,1	0,8	0,1	0,2	—	—	—	—	—	100,0	0,2	
	ДВК, Шмаковский массив	26,1	52,2	5,0	14,1	1,2	—	0,5	—	0,3	—	—	0,2	0,3	—	99,1	0,8	
	ДВК, Владимирск. массив	26,3	48,5	3,4	19,2	1,2	—	0,5	—	0,7	—	—	0,2	—	—	99,1	0,9	
	ДВК, Ольгинский массив	24,0	50,0	5,3	18,0	1,6	0,1	0,5	—	0,4	0,1	—	—	—	—	99,5	0,5	
Среднее по 5 анализам		24,65	49,96	5,3	17,66	1,32	0,04	0,58	0,04	0,32	0,02	—	0,08	0,06	—	99,4	0,6	
Пегматиты	Туркестан, р. Калай-Махмуд	24	48	5,8	19	2	0,1	0,8	0,1	0,4	—	—	—	—	—	99,8	0,4	Е. И. Семенов и Р. Л. Баринский [15]
	Кейвы	22	54	6	15	1,2	—	0,5	—	0,4	0,1	0,3	—	0,6	0,1	98,7	1,5	
	С. Карелия, Каменная Тайбола	14	32	6,5	17	7,4	0,4	10	2	6,2	1,3	1,7	0,2	1,1	0,3	89,3	10,8	
	Койта-Тундра	20,0	37,6	5,8	18,4	8,8	0,4	4,3	1,0	1,9	0,5	0,8	—	0,5	—	96,4	3,70	Калита А. П. [6]
	Алакуртти	13,0	35,0	8,0	21,0	8,0	0,3	5,0	0,8	7,0	0,6	0,8	—	0,3	—	91,10	8,7	
Среднее по 5 анализам		14,7	41,3	6,5	18,3	3,48	0,24	4,12	0,78	5,18	0,5	0,72	0,04	0,5	0,08	95,6	5,02	

обнаружен иттрий-ортит [8]. В ортите же из скарнов Енисейского кряжа группе иттриевых редких земель принадлежит еще большая роль. Отсутствие анализов редких земель в ортитах из скарнов других районов и гидротермальных жил не позволяет определенно говорить о содержании элементов иттриевой группы в ортитах из этих пород. Однако относительно повышенные содержания элементов иттриевой группы в пегматитах и в описываемом ортите вполне согласуются с представлениями о большой подвижности элементов группы иттрия, склонности их накапливаться в минералах конечной стадии магматической эволюции. В частности, А. С. Павленко и др. [13] указывают, что в пегматитах и метасоматических образованиях иттриевые редкие земли в повышенном количестве входят также в такие специализированные на цериевой группе минералы, как ортит и торит.

В настоящее время исследованиями советских ученых довольно четко установлена геохимическая связь цериевой группы редких земель с торием, а иттриевой — с ураном. В минералах, обладающих большой изоморфной емкостью, отмечается близость отношений  $Ce/Y$  и  $Th/U$ . На примере ортита это довольно убедительно было показано Д. А. Минеевым [12]. Результаты проведенных нами исследований вполне согласуются с этими положениями. В цериево-иттриевом ортите из скарнов указанные отношения вполне сопоставимы (табл. 5).

Таблица 5

Отношение цериевых редких земель к иттриевым и тория к урану в ортитах

№ п. п.	Месторождение	$Ce/Y$	Содержание весовые в %		$Th/U$
			Th	U	
1	Енисейский кряж (скарн)	6,04	0,60	0,04	15
2	Алакургити, Карелия (пегматит)	5,7	1,10	0,071	15,5
3	Койта-Тундра (пегматит)	10,1	1,75	0,23	7,6
4	Хето-Ламбина (пегматит)	49	1,2	0,025	41,3
5	Ильменские горы, Урал (пегматит)	80	1,4	0,016	88
6	Вишневые горы, Урал (пегматит)	200	0,4	0,001	400

ПРИМЕЧАНИЕ: Данные по ортитам 2-6 взяты у Д. А. Минеева [12].

В тесном геохимическом родстве с редкоземельными элементами находятся иттрий и скандий. В данном ортите содержание их весьма скромное:  $Y_2O_3$  — 0,91%;  $Sc_2O_3$  менее 1% (от суммы редких земель).

Несколько подробнее следует остановиться на характеристике цериевой группы редких земель в ортите, поскольку он все-таки является резко селективным цериевым минералом. В частности, из табл. 4 следует, что для ортитов разного генезиса общее содержание элементов цериевой группы, а также содержание отдельных ее членов испытывает существенные изменения. Так, содержания лантана колеблются от 13 до 20%, церия от 32 до 54%, празеодима — от 3,4 до 8% и т. д. Постоянным и сравнительно высоким содержанием отличается неодим, что было известно и раньше. Поэтому А. С. Павленко и др. [13] для характеристики геохимических особенностей редкоземельных элементов цериевой группы в минералах из пород различного состава предложили выражать их в виде отношений к неодиму. Оказалось, что эти отношения обнаружи-

Относительные содержания редких земель в ортитах разного генезиса

№ пп.	Р а й о н	La/Nd	Ce/Nd	Pr/Nd	Sm/Nd	Gd/Nd	Генетический тип	Ссылка
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Восточное Забайкалье	1,39	2,72	0,33	0,066	0,033	Граниты	В. В. Ляхович [8]
2	ДВК, Шмаковский массив	1,16	2,63	0,31	0,07	0,04		
3	ДВК, " "	1,85	3,70	0,35	0,086	0,03		
4	ДВК, Владимирский массив	1,47	2,94	0,36	0,07	0,03		
5	ДВК, Ольгинский массив	1,33	2,78	0,29	0,09	0,027		
	Среднее по 5 анализам	1,44	2,95	0,33	0,07	0,03		
1	Швеция, Иттерби (№ 12242)	0,65	1,35	0,23	0,35	0,33	Пегматиты	Э. И. Вайнштейн и др. [4]
2	Швеция, Фалун (№ 14143)	0,4	1,0	0,22	0,36	0,29		
3	Финляндия, Ваарала (№ 54864)	1,1	2,2	0,26	0,25	—		
4	Карелия, Тедино № 1	1,1	2,05	0,25	0,23	0,11		
5	Тувинская АССР, Дуглинский массив	1,65	3,0	—	—	—		
	Среднее по 5 анализам	0,98	1,92	0,19	0,24	0,15		
1	Енисейский кряж	2,29	2,81	0,41	0,32	0,044	Гранат-пироксеновые скарны	Э. И. Вайнштейн и др. [4]
2	Швеция, Бастнес черный № 3147	3,25	4,5	0,28	—	—	Амфиболовые скарны	А. С. Павленко и др. [13]
3	Швеция, Бастнес бурый измененный	3,5	4,0	0,29	—	—	Контакт. мет. м-ние	

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	США, Нью-Джерси, № 31480	1,85	3,0	0,3	0,13	—	Гроссул-везувиан. скарны Контактово-метасо- мат.	
5	Тувинская АССР, Дуглинский массив	2,2	3,6	0,36	0,21	0,32		
	Среднее по 5 анализам	2,62	3,58	0,33	0,13	0,07		
1	Норвегия, Бигден Си № 51481	2,0	3,2	0,28	—	—	Полевошпат. жила	Э. И. Вайнштейн и др. [4]
2	Гренландия, Авигейт № 51480	3,0	4,3	0,34	—	—	Гидрот. жила	
3	ГДР, Раденталь № 21617	5,1	6,0	0,4	—	—		
4	Урал, Ильмены: Усков ключ № 10050	4,3	4,7	0,36	0,10	—		
5	Забайкалье, Слюдянка № 10053	2,45	3,45	0,29	0,10	0,10	Контакт. гидрот. м-ние	
	Среднее по 5 анализам	3,37	4,33	0,33	0,04	0,02		

вают четкую зависимость от генетического типа породы. Особенно показательны отношения церия к неодиму и лантана к неодиму.

В табл. 6 приводятся относительные (к неодиму) содержания элементов цериевой группы для 20 образцов ортитов магматического, пегматитового, скарнового и гидротермального генезиса, а также средние их величины по группам. Из построенного по этим данным графика (рис. 5) можно сделать следующие выводы о распределении редких земель в ортитах разного происхождения.

1. Отношения Ce/Nd и La/Nd в ортитах магматического генезиса оказываются выше, чем в ортитах из пегматитов, в скарновых ортитах эти отношения увеличиваются и превышают таковые для пегматитовых и даже магматических ортитов. В гидротермальных ортитах происходит дальнейшее значительное увеличение отношений.

2. Отчетливое подобие кривых Ce/Nd и La/Nd лишний раз подтверждает парность церия и лантана [15] и, следовательно, геохимическую близость путей их миграции в эндогенных процессах.

3. Относительные содержания празеодима и самария в ортитах из пород разного генезиса испытывают незначительные колебания, причем для первого в ортитах из пегматитов наблюдается заметный максимум, в то время как второй в этих условиях характеризуется минимумом.

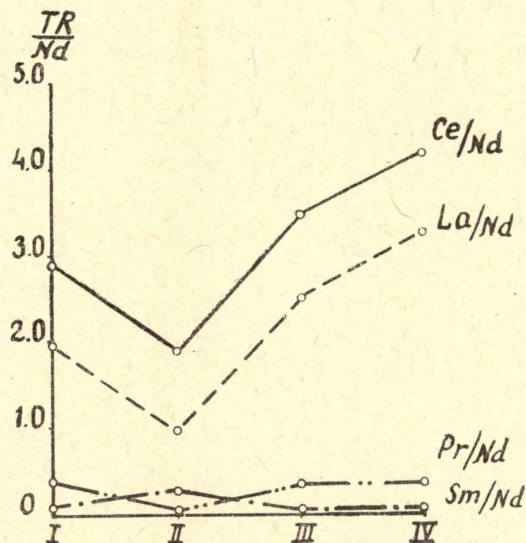


Рис. 5. Характер изменения содержания редкоземельных элементов в отношении к неодиму в ортитах разного генезиса. I — граниты, II — пегматиты, III — скарны, IV — жильные образования гидротермального происхождения.

### Заключение

Изучение ортита из скарнов Енисейского кряжа позволяет сделать следующие выводы об условиях нахождения и физико-химической характеристике этого минерала.

1. Ортитоносные скарны характеризуются гранат-пироксеновым составом. Ортит, наряду с гранатом, является одним из наиболее ранних минералов в скарнах и встречается, как правило, в эндоскарновой зоне. Находится он в тесной ассоциации с клиноцоизитом, эпидотом, диопсидом и роговой обманкой.

2. Минерал характеризуется повышенным содержанием калия и натрия, а также присутствием таких редких для ортита элементов, как литий, стронций, скандий. Вероятно, с увеличением содержания щелочных элементов — калия и натрия — появляется возможность для изоморфного вхождения лития и щелочно-земельного стронция в кристаллическую решетку описываемого минерала. Что касается скандия, то он находится в тесной геохимической связи с лантаноидами.

3. Редкие земли в описанном ортите отличаются несколько пониженным содержанием по сравнению со средними его величинами для орти-

тов из гранитов и пегматитов. В составе редких земель наряду с элементами цериевой группы заметная роль принадлежит элементам группы иттрия. При этом подтверждается сопоставимость  $\Sigma TR_{Ce}/Th$  и  $\Sigma TR_{Ce}/U$  (табл. 5).

4. По отношению  $Ce/Nd$  и  $La/Nd$  изученные ортиты из скарнов Ёнисейского кряжа занимают промежуточное положение между ортитом пегматитов и ортитом гидротермальных образований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Баженов. Редкоземельный эпидот из юго-восточного Алтая. Известия Томского политехнич. ин-та, т. 90, 1958.
2. А. Г. Бетехтин. Минералогия. Госгеолгиздат, 1950.
3. А. И. Болдырев. Диаграмма величин двупреломления и угла оптических осей. В сб. «Универсальный столик Е. С. Федорова», Изд. АН СССР, 1953.
4. Э. Е. Вайнштейн, А. И. Тугаринов, Н. В. Туранская. О закономерностях в распределении редких земель в некоторых минералах. Геохимия, № 2, 1956.
5. А. Н. Винчелл. Оптическая минералогия. ИЛ, 1953.
6. А. П. Калита. Редкоземельные пегматиты Алакүртти и Приладожья. Изд. АН СССР, 1961.
7. О. Н. Ложникова и С. Я. Яковлева. Рентгенометрический справочник-определитель минералов, содержащих редкоземельные элементы. Отдел Научно-техн. информации, 1961.
8. В. В. Ляхович. Элементы редких земель в акцессорных минералах гранитоидов. Геохимия, № 1, 1962.
9. Б. М. Меликсетян. Акцессорный ортит из Мегринского плутона. Изд. Арм. ССР, геол. и географ. н., 13, № 1-3, 12, 1960.
10. Д. А. Минеев. Редкоземельный эпидот из пегматитов Ср. Урала. Докл. АН СССР, 129, № 4, 1959.
11. Д. А. Минеев, Н. И. Ступникова. О природе радиоактивности ортитов и соотношении в них урана, тория и редких земель. Докл. АН СССР, 129, № 4, 1955.
12. Д. А. Минеев. О некоторых геохимических особенностях радиоактивных редкоземельных минералов. Геохимия, № 2, 1960.
13. А. С. Павленко, Э. Е. Вайнштейн, Н. В. Туранская. О некоторых закономерностях поведения редких земель и иттрия в магматических и постмагматических процессах. Геохимия, № 4, 1959.
14. В. В. Плошко. Об акцессорном ортите из актинолитов р. Малой Лабы. Изв. АН СССР, сер. геол., № 11, 1958.
15. Е. И. Семенов, Р. Д. Баринский. Особенности состава редких земель в минералах. Геохимия, № 4, 1958.
16. Г. А. Сидоренко. Рентгенографический определитель урановых и урансодержащих минералов. Госгеолтехиздат, 1960.
17. В. С. Соболев. Введение в минералогию силикатов. Изд. Львовского госуниверситета, 1949.
18. Х. Г. Темпель. Влияние редких земель и некоторых других компонентов на физико-оптические свойства минералов эпидотовой группы. Центр. Геол. Библиотека, вып. 132, 1939.
19. В. Е. Трегер. Таблицы для оптического определения породообразующих минералов. Госгеолтехиздат, 1958.
20. Э. Хейнрих. Минералогия и геология радиоактивного минерального сырья. ИЛ, 1962.
21. Ф. Н. Шахов. К теории контактовых месторождений. Тр. горно-геол. ин-та Зап. Сиб. филиала АН СССР, вып. 1, 1947.
22. J. M. Correia Neves, R. Guedes de Carvalho. Allanite, tantalite-columbite e berilo de Nampula e Alto-Ligonha (Mocambique). Mem. Enotic Museu e lab. mineral. e geol. Univ. coimbra e centro estud. geol., № 4, 1956. Реф. ж., геол., № 2, N 2591, 1958.
23. Smith William Lee, L. Frank Mona., M. Sherwood Alexander. Uranium and thorium in accesory allanite of igneous rocks. Amer. Mineralogist, 42, № 5—6, 1957.