

Б. М. МЕЛИКСЕТЯН

К ГЕОХИМИИ ИТТРИЯ И РЕДКИХ ЗЕМЕЛЬ В ГРАНИТОИДАХ МЕГРИНСКОГО ПЛУТОНА

До последнего времени поведение и распределение редкоземельных элементов и иттрия в магматическом процессе было изучено недостаточно и основные представления о геохимии этих элементов базировались на классических работах В. И. Вернадского и В. М. Гольдшмита, вышедших в свет более 30 лет назад.

В. И. Вернадский в своей статье «Об элементах редких земель в массивных горных породах» отмечает частично рассеянное их состояние в апатитах, сфенах и цирконах, а также присутствие собственных минералов — ортита и монацита. Однако, по его мнению, «распределение редких земель в минералах неясно, так как все анализы относятся к пегматитовым разностям, а между ними и породообразующими ничто не указывает на тождественность их составов».

За последние годы работами Н. В. Туранской, Э. Е. Вайнштейна, А. И. Тугаринова [1, 2, 3], Е. И. Семенова [7, 8] и других были установлены основные закономерности распределения иттрия и редких земель в изверженных породах.

Поскольку имеющиеся данные немногочисленны и относятся к сравнительно древним интрузивным комплексам, часто слабодифференцированным и нерудоносным, то определенный интерес могут представить данные о распределении иттрия и редких земель в гранитоидах сложного Мегринского плутона палеогенового возраста, с которым связано медно-молибденовое оруденение.

Полихронный Мегринский плутон состоит из производных трех интрузивных комплексов (монцонитового, граносиенитового и гранитового) со своими субфазами, дополнительными интрузиями и жильно-магматическими породами двух этапов [4, 5, 6]. Характерными петрографическими особенностями гранитоидов плутона являются повышенные содержания, по сравнению со средними типами, щелочных алюмосиликатов, а также СаО, FeO, Fe₂O₃, отчасти TiO. Отношение K₂O:Na₂O заметно варьирует (0,7—1,2), но в целом K₂O преобладает над Na₂O, особенно в поздних комплексах.

Характерной особенностью ассоциаций аксессуариев гранитоидов Мегринского плутона является широкое распространение редкоземельных минералов: ортита и монацита. Изучение большого количества искусственных шлихов в породах разновременных фаз позволило выявить определенные закономерности в распределении редкоземельных минералов — основных носителей редких земель (ортита и монацита). В породах монцо-

нитового комплекса редкие земли концентрируются частью в ортите, частью в монаците, причем между ними наблюдается определенный антогонизм. В гранитоидах поздних комплексов редкие земли сконцентрированы главным образом в ортите и сфене.

Ортиты проявляют тенденцию концентрироваться в гранитоидных фациях с признаками гибридности, характеризующихся избытком СаО и высокими содержаниями MgO и FeO [4, 5]. В породах же с нормальным соотношением окислов, высоким содержанием щелочей и глинозема и недосыщенных СаО обычно появляется монацит.

Характерной особенностью элементов группы редких земель является их склонность накапливаться в остаточном расплаве. Это обусловлено большими размерами атомов (ионов) этих элементов, ограничивающими изоморфное вхождение в решетки минералов главной кристаллизации. Как показали исследования Э. Е. Вайнштейна, А. И. Тугаринова, геохимической особенностью поведения редких земель в расплаве является некоторая общность их с судьбой главной массы — щелочей. Эта общность истории TR и щелочей выражается в способности редких земель не только удерживаться в расплаве в виде растворенных щелочных комплексных соединений, но накапливаться в остаточных, богатых летучими флюидах. Этим, в частности, объясняется выделение главной массы редких земель и иттрия из магматического расплава в виде ортита, монацита, ксенотима (а также других носителей TR — сфена, апатита и циркона), в конечной стадии кристаллизации расплава в тесной ассоциации с биотитом.

Распределение акцессорных иттрия и редких земель в породах Мегринского плутона

Как показало изучение искусственных шлихов, в породах Мегринского плутона широким распространением пользуются такие минералы, содержащие редкие земли и итрий, как циркон, циртолит, сфен, апатит, монацит, ортит и ксенотим. Количественные соотношения их приведены в табл. 1.

Таблица 1
Распределение акцессорных минералов, содержащих итрий и редкие земли в породах плутона (в вес. %)*

Породы Минералы	I фаза		II фаза	III фаза
	монциты	щелочные сиениты	граносиениты	граниты
Циркон	0,041	0,21	0,052	0,068
Циртолит	0,001	—	0,001	0,0015
Монацит	0,01	0,05	0,001	0,001
Ортит	0,016	0,009	0,001	0,009
Сфен	0,38	0,45	0,34	0,20
Апатит	0,45	0,64	0,30	0,25
Ксенотим	0,0003	—	0,0005	0,0013
Флюорит	—	0,15	—	0,002

* По данным количественно-минералогических подсчетов.

Редкоземельные элементы цериевой подгруппы, кроме рассеяния в кристаллических решетках других минералов (сфен, апатит, циркон), образуют самостоятельные минералы: ортит и монацит, в то время как иттрий и элементы иттриевой подгруппы распределяются в редкоземельно-цериевых, циркониевых и кальциевых (апатит, сфен), и титанониобиевых минералах. Часть из них концентрируется в циртолите и ксенотиме.

Содержание иттрия, по данным рентгеноспектральных анализов, закономерно возрастает от ранней фазы ($3 \cdot 10^{-3} \%$) к поздней ($4-5 \cdot 10^{-3} \%$), и лишь в эндоконтактовых гибридизированных фациях понижается до $2 \cdot 10^{-3} \%$. Щелочные сиениты и пегматиты обогащены иттрием в большей степени ($6,8 \cdot 10^{-3} \%$). Среди даек второго этапа гранодиорит-порфиры несколько обогащены иттрием ($1 \cdot 10^{-3} \%$), лампрофиры, диорит-порфиры и др. обеднены ($1,2 \cdot 10^{-3} \%$). Наиболее обогащены иттрием аплиты и пегматиты поздних гранитоидных комплексов — $2 \cdot 10^{-2} \%$.

По сравнению с кларком в кислых породах ($2 \cdot 10^{-3} \%$ по А. П. Виноградову) лишь в гранитоидах позднего комплекса и в щелочных породах он повышен в 1,5—2 раза (табл. 2). В ходе развития интрузивной дея-

Таблица 2

Средние содержания акцессорных Y и TR_2O_3 в главных типах пород*

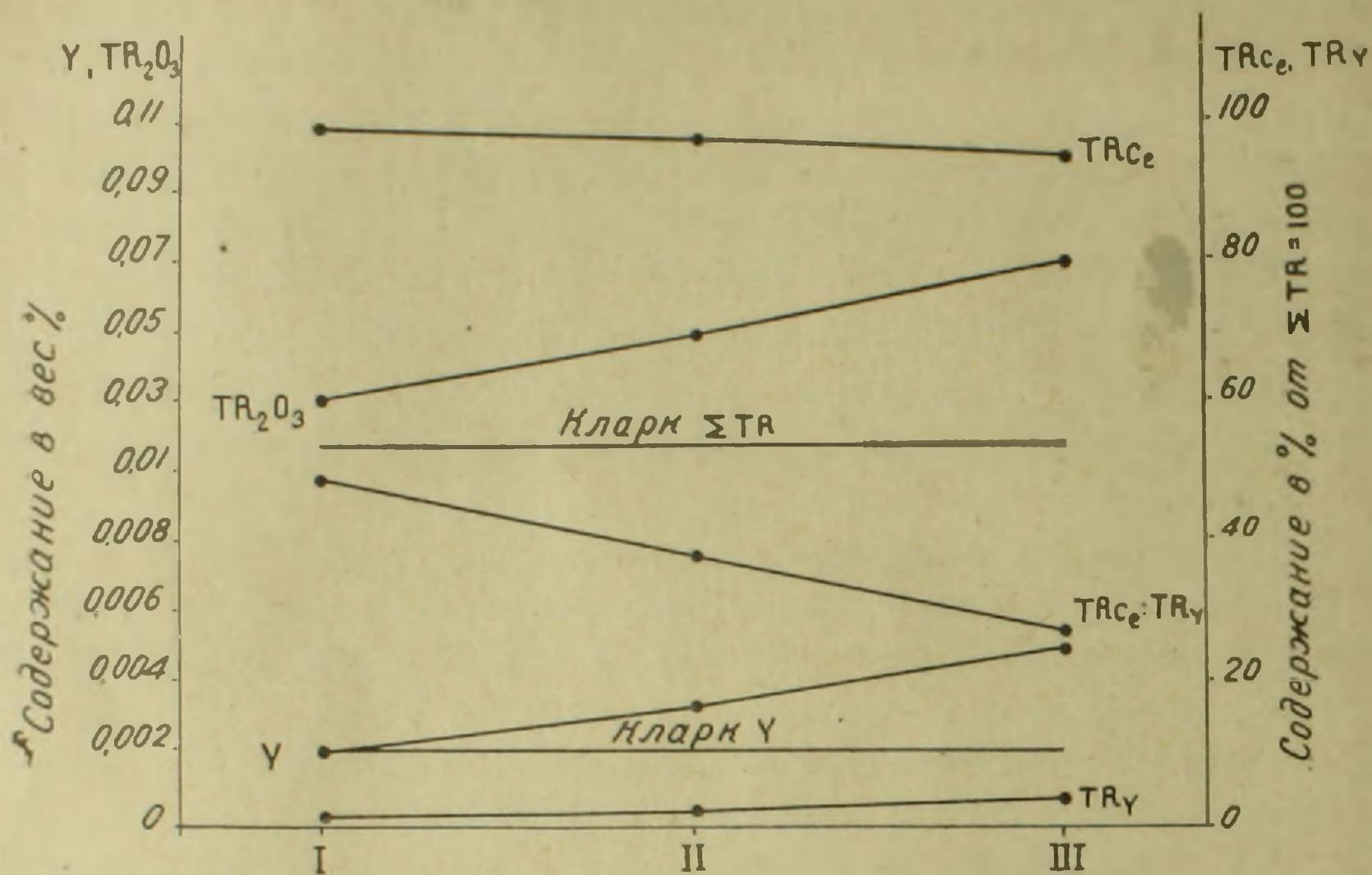
Породы	Содержание в вес. %	
	Y	TR_2O_3
Интрузивные породы		
Монцониты I—фаза	0,002	0,030
Щелочные сиениты	0,003	0,091
Граносиениты—II фаза	0,004	0,049
Порф. граниты—III фаза	0,005	0,068
Жильные породы		
Аплиты, пегматиты	0,020	0,240
Гранодиорит-порфиры	0,005	0,050

* Содержание ΣTR_2O_3 по данным химических анализов (аналитик Н. А. Элизян). Содержание Y по данным рентгеноспектральных анализов.

тельности содержание ΣTR_2O_3 неуклонно возрастает (табл. 2) от первой интрузивной фазы ($3 \cdot 10^{-2} \%$) ко второй ($4,9 \cdot 10^{-2} \%$) и далее к третьей ($6-8 \cdot 10^{-2} \%$), а в щелочных сиенитах субфазы достигает $9,1 \cdot 10^{-2} \%$. Особенно обогащены редкими землями альбитизированные щелочные сиениты ($0,12 \%$), ортитовые и монцонитовые, пегматиты первой интрузивной фазы — $0,5-1,0 \%$, аплиты и пегматиты поздних фаз — $0,2 \%$.

Сравнивая с кларком в изверженных породах ($1,5 \cdot 10^{-2} TR_2O_3$ по А. П. Виноградову) можно заметить 3—4-кратное обогащение интрузивных комплексов Мегринского плутона редкими землями.

Содержание отдельных редкоземельных элементов в ΣTR_2O_3 неодинаковое. Как показали проведенные исследования, подтверждается мнение Э. Е. Вайнштейна и А. И. Тугаринова [2] о сравнительно постоянном соотношении индивидуальных редких земель в гранитоидах и в извлеченных из них главных носителях — минералах.



Фиг. 1. Распределение и поведение суммы редких земель и иттрия в ходе формирования Мегринского плутона. I — монцитовый; II — граносиенитовый, III — гранитовый комплексы.

Таблица 3
Содержание и соотношения акцессорных редких земель в гранитоидах Мегринского плутона*

Комплексы	Содержание редких земель от ΣTR_2O_3 , принятой за 100%														
	TR_2O_3	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Lu
Монциты I фаза	0,030	18,0	47,0	6,5	23,0	3,6	0,6	2,3	0,2	1,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
Граносиениты II фаза	0,049	21,0	43,00	6,0	24,0	2,8	0,4	1,5	0,3	1,0	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
Граниты III фаза	0,068	22,0	41,0	3,5	26,0	2,0	0,4	1,2	0,4	0,3	0,3	0,6	0,4	0,7	0,3
Среднее по плутону	0,046	20,0	43,0	5,0	25,0	2,5	0,6	1,6	0,3	0,9	0,2	0,3	0,2	0,3	0,1

* По данным рентгеноспектральных анализов лаборатории ИМГРЭ.

Как видно из таблицы 3, где приводятся соотношения редкоземельных элементов в характерных разновидностях пород разновозрастных интрузий, содержание индивидуальных лантаноидов колеблется в ограничен-

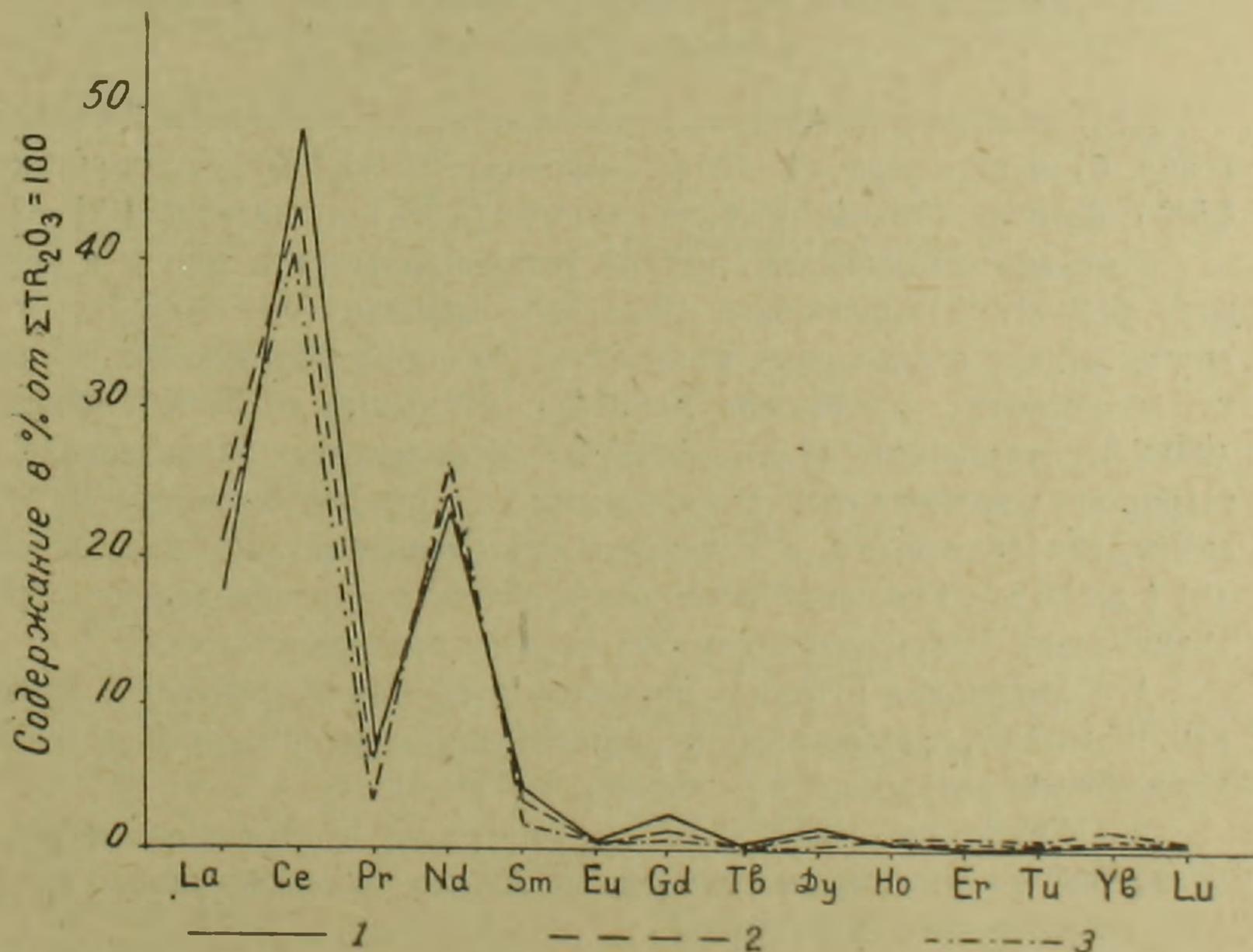
ных пределах, как в главных типах пород, так и по плутону в целом. Характерен резко выраженный цериевый максимум (Ce, La) гранитоидов отдельных комплексов, на долю которого приходится 62—65% от суммы редких земель и неодимовый максимум (Pr, Nd) — 26—30%. На остальные редкие земли приходится 5—10%.

Соотношение редких земель цериевой и иттриевой подгрупп в ходе формирования плутона смещается в сторону возрастания роли редких земель иттриевой подгруппы (табл. 4). Отношение $TR_{Ce}:TR_{Y}$ закономерно понижается от 49 до 23. В целом по плутону $TR_{Ce}:TR_{Y} = 40$ (в земной коре — 35).

Таблица 4

Соотношение редких земель иттриевой и цериевой подгрупп в гранитоидах плутона

Породы	ΣTR_2O_3 в %	Содержание в % от ΣTR_2O_3 , приня- той за 100%		Содержание в вес. %		$TR_{Ce}:TR_{Y}$
		TR_{Ce}	TR_{Y}	TR_{Ce}	TR_{Y}	
Монциты	0,030	98,0	2,0	0,0294	0,0006	49
Граносиениты	0,049	97,5	2,5	0,0476	0,0013	37
Граниты	0,067	96,5	3,5	0,0556	0,0024	23
Среднее по плутону	0,046	97,7	2,3	0,0449	0,0011	40



Фиг. 2. Распределение редкоземельных элементов в отдельных комплексах Мегринского плутона. I — монцитовый; II — граносиенитовый и III — гранитовый комплексы.

При сравнении средних содержаний индивидуальных лантаноидов с кларками в изверженных породах по А. П. Виноградову (1956), что иллюстрируется табл. 5, видно резко повышенное от 2 до 5 раз выше кларка содержание редких земель цериевой подгруппы, а содержание редких земель иттриевой подгруппы — в пределах и ниже кларка (1,5—2 раза).

Таблица 5

Средние содержания и кларки концентрации редких земель в гранитоидах Мегринского плутона

Элементы цериевой подгруппы	Мегринский плутон	Изверженные породы по А. П. Виноградову	Кларки концентрации	Элементы иттриевой подгруппы	Мегринский плутон	Изверженные породы по А. П. Виноградову	Кларки концентрации
Лантан	$8 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	2	Тербий	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	1,3
Церий	$2 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3}$	5	Диспрозий	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	1,1
Празеодим	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-5}$	3,5	Гольмий	$9,2 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	0,9
Неодим	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	3,7	Эрбий	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	0,65
Самарий	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$	3,0	Тулий	$9,2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	0,9
Европий	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	2,8	Иттербий	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	0,65
Гадолиний	$7,5 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$	1,1	Лютеций	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	0,45

Таким образом, параллельно с возрастанием атомного веса и номера лантаноида содержание его в гранитоидах возрастает.

Распределение акцессорных иттрия и редких земель по минералам гранитоидов

Химическими и рентгеноспектральными анализами иттрий установлен (табл. 6) в цирконах (1—3,0%), сфенах (2,5—5,0%), циртолитах (3—4,5%), ортитах (0,1—0,16%), монацитах (2,5%) и апатитах (0,1—2,0%).

В меньших количествах иттрий устанавливается в торите и ураноторите (0,3—1,0%), флюорите (0,3—1,0), гранате (0,1—0,3%) и в ряде других редких акцессорных минералах. Из породообразующих минералов иттрий встречен в биотите (0,001%), мусковите (0,003%), олигоклазе (0,001%), калишпате (0,001—0,003%). В пегматитах значительная часть иттрия представлена самостоятельными минералами: ксенотимом, иттриалитом, гадолинитом и в селективно иттриевых титано-танталонниобатах (от 1 до 30%). Говоря об основных особенностях распределения иттрия в гранитоидах Мегринского плутона следует подчеркнуть, что:

1. Содержание иттрия в цирконах и сфенах возрастает в одноименных минералах, извлеченных из пород поздних гранитоидных комплексов: параллельно возрастает и отношение $Y:\Sigma TR$.

2. Содержание Y_2O_3 в тех же минералах из щелочных сиенитов по сравнению с гранитоидами заметно понижено, но здесь главная масса иттрия сосредоточена в флюорите.

3. В апатитах и ортитах содержание иттрия незначительное и несколько возрастает в поздних дифференциатах, лишь темные апатиты из монзонитов содержат 2,0% иттрия.

В цирконах, апатитах и сфенах содержание иттрия преобладает над суммой редких земель, а отношение $Y:\Sigma TR$ колеблется от 1,5 до 0,4. В то же время ортиты в монациты обеднены иттрием: $Y:\Sigma TR = 0,04 - 0,008$.

Таким образом, как показали количественно-минералогические пере-счеты, примерно 60—70% иттрия и редких земель иттриевой подгруппы приходится на сфен, остальная часть на циркон и более редкие акцессор-ные и породообразующие минералы. В сфене и цирконе главная масса ит-трия — Y^{+3} входит в их структуры, гетеровалентно замещая Ca^{+2} и Zr^{+4} .

Редкие земли химическими и рентгеноспектральными анализами уста-новлены более чем в 50 минералах. В качестве главного компонента ред-кие земли входят в пять минералов—ортит ($20,66\% \Sigma TR_2O_3$), монацит ($62,4\% \Sigma TR_2O_3$), а также в редкие пегматитовые минералы: церит, роу-ландит и лантанит. В распространенных акцессорных минералах пород и пегматитов редкие земли присутствуют в сфенах ($1,23-1,65\%$), апатитах ($0,5-2,40\%$), цирконах ($0,06-0,70\%$) и циртолитах ($0,7-0,8\%$); особен-но высоко—содержание в сфенах ($1,65\%$), цирконах ($0,30\%$) и апатите ($2,40\%$) щелочных сиенитов.

При переходе от апатитов из пород ранних фаз к поздним содержа-ние ΣTR_2O_3 в них понижается (от 1,05 до 0,51%) в том же направле-нии в цирконах и сфенах возрастает соответственно от 0,06 до 0,7% и от 1,23 до 1,59% (табл. 6).

Таблица 6

Содержание иттрия и суммы редких земель в характерных акцессорных минералах из пород Мегринского плутона*

Название породы, содержащей минерал	Содержа- ние в %			Название породы, содержащей минерал	Содержа- ние в %		
	Y_2O_3	TR_2O_3	Y/TR		Y_2O_3	TR_2O_3	Y/TR
Цирконы				Апатиты			
Монцонит I фаза	2,0	0,06	33	Монцонит I фаза	2,0	1,05	1,9
Щелочной сиенит I фаза	1,0	0,30	3,3	Щелочной сиенит I фаза	—	2,40	—
Гранодиорит II фаза	1,0	0,50	2,0	Гранодиорит II фаза	—	0,68	—
Гранит III фаза	3,0	0,70	4,3	Гранит III фаза	—	0,51	—
Сфены				Полевошпатовый пегма- тит	—	0,47	—
Монцонит I фаза	3,0	1,23	2,4	Ортиты			
Щелочной сиенит I ф.	2,5	1,65	1,5	Монцонит I фаза	0,1	21,0	0,005
Гранодиорит II фаза	4,0	1,42	2,7	Полевошпатовый пегма- тит	0,16	20,66	0,008
Гранит III фаза	5,0	1,59	3,1	Монацит			
Циртолиты				Щелочной сиенит	2,6	62,5	0,04
Микроклин-мусковит- пегматит	3,0	0,70	4,3	Ксенотим			
Кварц-микроклиновый пегматит	4,5	0,80	5,5	Пегматит	60,0	1,0	60

* По данным химических (М. Е. Казакова, И. С. Разина, А. Быкова) и рентге-носпектральных анализов (Р. Л. Баринский). ИМГРЭ АН СССР.

Таблица 7

Распределение редкоземельных элементов в характерных акцессорных минералах из главных типов пород Мегринского плутона*

№ обр.	Минералы	Интрузивные фазы и породы	Содержание ΣTR_2O_3 в вес. %	Содержание редких земель в % от ΣTR_2O_3 , принятой за 100%													
				La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
1	Циркон	Монцонит I фаза	0,06	20,0	35,0	2,1	4,0	0,9	0,5	2,5	0,2	3,8	1,0	11,0	2,0	17,0	3,0
2	.	Щел. сиенит I фаза	0,30	18,0	45,0	3,4	9,0	1,5	0,1	1,5	0,1	2,3	0,5	5,0	1,0	11,0	1,9
3	.	Граносиенит II фаза	0,50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	.	Гранит III фаза	0,10	5,4	13,0	0,2	0,9	0,9	0,5	3,4	0,6	8,3	2,0	18,0	3,1	38,0	5,4
5	Сфен	Монцонит I фаза	1,23	16,0	42,0	1,3	22,0	4,1	0,4	1,0	0,2	1,3	9,3	0,5	—	0,2	—
6	.	Щел. сиенит I фаза	1,65	19,0	43,0	6,1	23,0	3,4	0,3	0,9	0,15	0,9	0,2	0,4	—	0,2	—
7	.	Граносиенит II фаза	1,42	18,0	41,5	6,0	22,0	3,3	0,2	1,3	0,10	2,0	0,3	0,4	0,1	0,3	0,5
8	.	Гранит III фаза	1,59	20,0	41,0	5,9	23,0	3,9	0,4	1,9	0,3	0,9	0,2	0,3	—	0,3	—
9	Апатит	Монцонит I фаза	1,05	21,0	40,0	4,8	25,0	2,1	0,3	2,1	0,3	0,8	0,2	0,1	—	—	—
10	.	Щел. сиенит I фаза	2,40	25,0	44,0	4,4	23,0	1,8	0,2	1,1	0,2	0,5	—	—	—	—	—
11	.	Граносиенит II фаза	0,68	24,0	42,0	4,0	24,0	2,0	0,4	0,8	0,3	0,4	—	—	—	—	—
12	.	Гранит III фаза	0,51	25,0	42,0	3,8	25,0	0,8	0,4	0,9	0,1	0,2	—	—	—	—	—
13	.	Пегматит	0,41	30,0	42,0	3,6	22,0	0,3	—	1,0	0,2	0,3	—	0,2	—	0,2	—
14	Циртолит	Пегматит	0,10	5,4	13	0,2	1,0	1,0	0,3	3,4	0,6	8,1	2,2	27,0	4,0	36,1	7,5
15	.	Пегматит	0,80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	Ортит	Монцонит I фаза	21,0	39	58	3,4	6,5	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	.	Пегматит	20,66	36	51,5	3,0	8,1	0,3	—	0,1	—	—	—	—	—	—	—
18	Монацит	Щел. сиенит	62,5	30,0	44,5	6,8	12,0	1,1	0,2	0,2	—	0,4	—	2,1	1,9	0,2	—
19	Ксенотим	Пегматит	1,0	12,3	12,3	—	—	—	10,8	—	4,6	—	—	32,3	—	40,0	—

* По данным рентгеноспектральных анализов, выполненных в лаборатории ИМГРЭ АН СССР Р. Л. Баринским. Чувствительность — 0,1%. Относительная ошибка $\pm 10\%$.

максимумов редких земель в сторону иттриевых редких земель. Намечается три максимума: цериевый (20—50% от суммы TR_2O_3), эрбиевый и иттербиевый. Причем намечается возрастание роли эрбиевой и иттербиевой подгрупп редких земель в цирконах из гранитоидов поздних фаз по сравнению с цирконом из пород ранней фазы за счет понижения роли цериевой подгруппы.

В ортитах и монацитах резко преобладает цериевый максимум и почти отсутствуют редкие земли иттриевой подгруппы. На долю цериевых редких земель приходится примерно 75—90% от ΣTR_2O_3 . В ксенотиме отчетливо проявляется самариевый, тербиевый, эрбиевый и иттербиевый максимумы. Только на долю двух последних максимумов приходится 70—72% ΣTR .

Таким образом, анализ состава редких земель в минералах-носителях редких земель Мегринского плутона показывает, что среди них преобладает цериевый и неодимовый максимумы, затем следуют в порядке убывания Sm, Gd, Dy, Ho, Er, Tm и Yb.

Незначительное количество редких земель в основном цериевой подгруппы установлено спектральным анализом в биотите (0,001%), мусковите, плагиоклазе и калишпате (0,100%), эпидоте (0,3), рутиле, анатазе (0,01—0,03%), корунде, бадделеите (0,003—0,01%); урано-ториевых минералах (0,1%), малаконе и цертолите (0,3—1,0%), меланите (0,3%), турмалине (0,1%), флюорите (0,1%) и др.

Произведенный нами баланс редкоземельных элементов в гранитоидах разновозрастных фаз Мегринского плутона показывает, что ΣTR_2O_3 между минералами распределяется следующим образом (табл. 8).

Таблица 8

Распределение редких земель по минералам гранитоидов
в % от ΣTR_2O_3

Породы-минералы	Монцонит I фаза	Граносиенит II фаза	Гранит III фаза
Породообразующие минералы	4,5	5,0	3,5
Сфен	24,0	30,0	36,0
Апатит	15,0	21,0	25,0
Циркон	18,0	20,0	25,0
Ортит	27,0	12,0	5,0
Монацит	10,5	8,5	1,5
Прочие акцессорные минералы	1,0	3,5	4,0

Как видно из табл. 8, на долю апатита, циркона, сфена и ортита в гранитоидах приходится 80—90% от ΣTR_2O_3 в породах. На долю же породообразующих минералов, составляющих 98—99% объема породы, приходится весьма незначительная часть 3,5—5,0% от ΣTR_2O_3 в породах.

В распределении редких земель в породах каждой фазы наблюдаются определенные закономерности. От монцонитов первой фазы к более кислым гранитоидам третьей фазы в общем балансе редких земель возра-

стает роль сфена, апатита и циркона и понижается роль ортита и монацита. Это связано с резким сокращением содержания в гранитах акцессорных ортита и монацита и возрастанием содержания ΣTR_2O_3 в сфенах, апатитах и цирконах, несмотря на некоторое понижение содержания сфена и апатита в гранитах третьей фазы по сравнению с монцонитами.

Таким образом с повышением щелочности и кислотности пород от ранней фазы к поздним происходит перераспределение редких земель между основными носителями их и резко сокращается та часть TR, которая представлена в породах собственными минералами, несмотря на прогрессивное накопление их в ходе дифференциации в поздних комплексах.

В указанных выше минералах из гранитоидов в ходе дифференциации от первой фазы к третьей в соотношении редких земель намечается заметный сдвиг в сторону возрастания роли иттриевых редких земель.

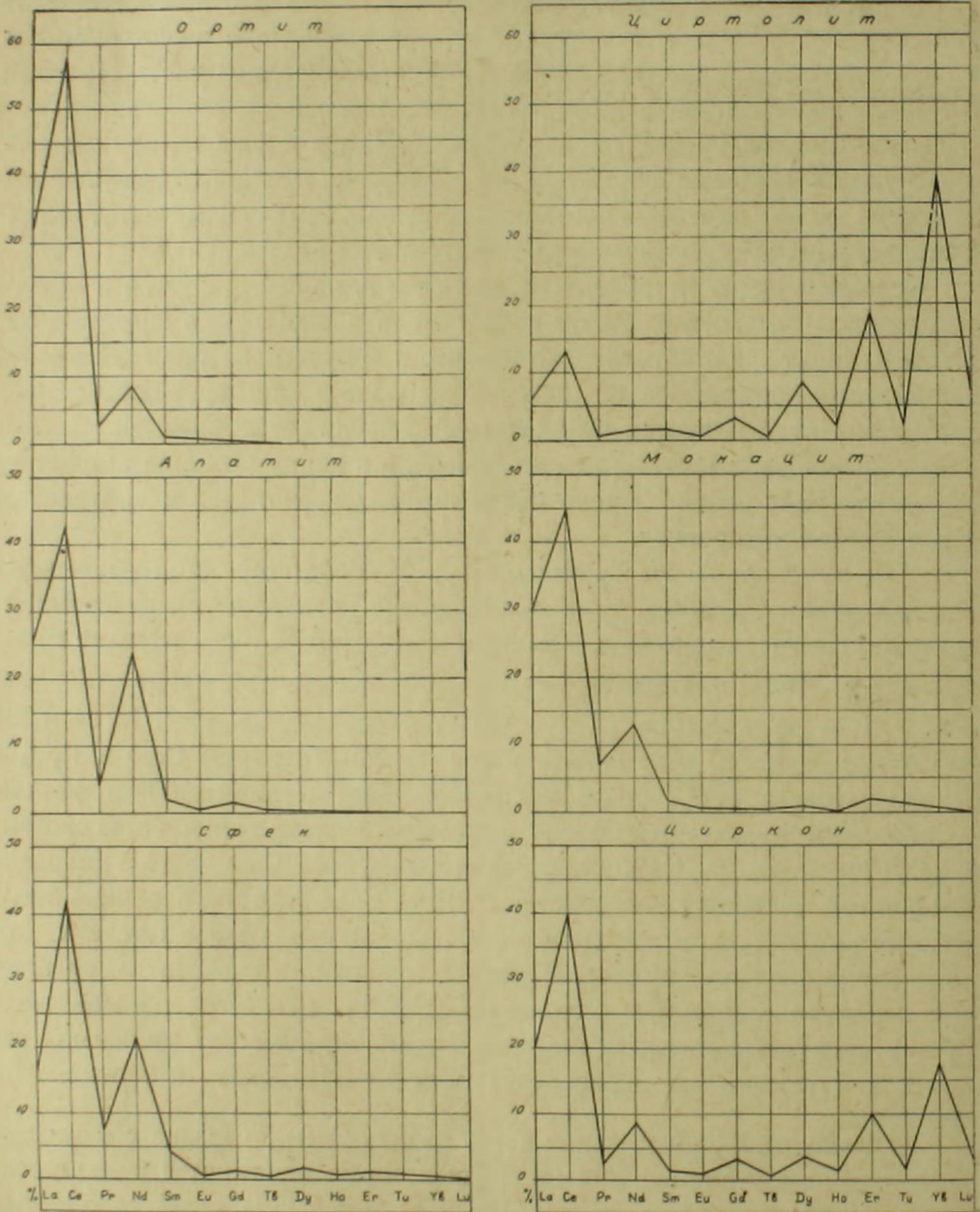
Основная масса иттриевых редких земель концентрируется в цирконах, сфенах и отчасти в редком ксенотиме, а цериевых — в апатитах, ортите и монаците. Это обусловлено тем, что при кристаллизации гранитоидной магмы с повышением щелочности расплава выпадение редких земель или их захват в решетки Са-акцессориев начинается преимущественно с более основных цериевых редких земель, а к концу процесса возрастает роль иттриевых редких земель как в поздних ксенотимах и циртолитах, так и сфенах и цирконах.

Как отмечают А. И. Тугаринов и Э. Е. Вайнштейн [2], на конечных стадиях кристаллизации создаются широкие возможности для изоморфного захвата иттриевых земель кальцийсодержащими акцессорными минералами в силу большего сходства ионных радиусов кальция ($Ca^{+2} — 1,04 \text{ \AA}$) и иттрия ($Y^{+3} — 0,97$), чем кальция и церия ($Ce^{+4} — 0,88$). Это будет зависеть в конечном итоге от концентрации СаО и P_2O_5 в расплаве (растворе). Редкие земли и кальций в гранитоидном расплаве образуют трехкомпонентную взаимную физико-химическую систему $TR_2O_3(Y) — CaO — P_2O_5 (SiO_2)$. В случае избытка СаО весь инертный фосфорный ангидрид связывается с СаО в виде апатита, а редкие земли концентрируются в ортите (цериевая группа) и частью в сфене и цирконе (иттриевая подгруппа). В случае недостатка извести в остаточном расплаве основная масса редких земель окажется связанной с P_2O_5 в виде монацита и ксенотима. Таким образом, мы должны будем иметь два устойчивых парагенезиса: апатит-ортит-сфен и апатит-монацит-сфен.

В пегматитах значительная часть редких земель связана с акцессорными титано-тантало-ниобатами, среди которых отмечаются резко селективные иттриевые (фергюсонит, эвксенит, самарскит) селективно-цериевые (пирохлорит, эшинит, гаттчетолит) и комплексные (бетафит, блонстрандин-приорит, винкит и др.). Помимо них, в пегматитах встречаются церит, лантанит, роуландит, иттриалит и гадолинит, а также монацит и ксенотим.

Отмеченное выше разделение редкоземельных элементов в различных типах пород разновозрастных интрузий и пегматитов обусловлено многи-

ми факторами, главными из которых являются: геохимическая специализация самой магмы, концентрация щелочей и извести, а также Zr, Ti, Nb и др., различием ионных радиусов подгруппы иттриевых и цериевых редких земель: от La⁺³ — 1,22 Å до Lu — 0,58 Å и др.



Фиг. 4. Диаграммы содержания редкоземельных элементов в процентах от суммы редких земель в характерных акцессорных минералах из гранитоидов Мегринского плутона.

Однако вместе с тем наблюдается их совместное нахождение (в сфенах, цирконах, комплексных титано-ниобатах), что обусловлено цепочеч-

ным характером изоморфизма [7] между цериевыми (1,02—1,22 А) и иттриевыми редкими землями (0,99—0,88).

Заканчивая рассмотрение поведения редких земель в ходе формирования Мегринского плутона, необходимо отметить, что отношение TR_{Ce} и TR_Y как в самих акцессориях, так и в гранитоидах закономерно убывает от 49 до 23, в том же направлении убывает $\Sigma TR:Y$.

Наблюдается возрастание роли Y и TR_Y как в гранитоидах поздних фаз и их крайних дифференциатах, так и в минералах-носителях редких земель и иттрия.

Таким образом характерной геохимической особенностью гранитоидов плутона является их редкоземельно-цериевая природа, проявляющаяся в составе сфенов, апатитов, ортитов, монацитов и таких селективно иттриевых минералов, как цирконы.

В ы в о д ы

1. Эволюция состава гранитоидов трех интрузивных комплексов выражена в направлении возрастания содержания SiO_2 и K_2O , а также Y и TR при уменьшении отношения $TR_{Ce}:TR_Y$.

2. По ассоциации акцессорных TR -содержащих минералов гранитоиды плутона можно разделить на три близких типа, где главенствующей является ассоциация кальциевых акцессорных минералов.

а) Монцитонитовый комплекс: апатит-сфен-ортит-монацитонитовый тип;

б) Граносиенитовый комплекс: апатит-сфен-ортит-цирконовый тип;

в) Гранитовый комплекс: апатит-сфен-ортит-ксенотимовый тип.

3. Иттрий и редкие земли в гранитоидах плутона в основном (60—85%) рассеяны в акцессориях (сфен, апатит, циркон), а частью (35—15%) образуют ортит, монацит и ксенотим. В пегматитах же, кроме того, рассеяны в титано-тантало-ниобатах и образуют иттриалит, гадолинит, церит, лантанит и роуландит. Лишь небольшая часть Y и TR находится в состоянии рассеяния в породообразующих минералах.

4. Данные изучения содержания сфена, апатита и циркона указывают на их редкоземельную природу, столь характерную для умеренно-кислых гранитоидов с повышенной известковостью.

Примечательно, что в ходе развития магматизма в сфенах, цирконах и апатитах возрастание содержания TR_2O_3 не приводит к изменению соотношения отдельных лантанондов, т. е. они монотонны.

5. Изучение распределения TR в породах и минералах указывает на общность магматического очага всех трех гранитоидных комплексов и связанных с ними жильно-магматических пород обоих этапов.

6. В ходе дифференциации магматического очага закономерно понижается отношение $\Sigma TR:Y$ и $TR_{Ce}:TR_Y$, что может применяться как характерный индикатор петрогенетических процессов и для корреляции с целью выделения разновозрастных интрузивных массивов.

7. В ходе развития интрузивной деятельности при переходе от монцитонитов к гранитам и в минералах-носителях TR намечается заметный сдвиг

влево по ряду лантанов периодической системы, т. е. намечается возрастание роли иттриевых редких земель.

8. Выявленные особенности распространения иттрия и редкоземельных элементов позволяют отнести гранитоиды плутона к существенно-редкоземельно-цериевому геохимическому типу, являющемуся характерным для провинции в целом и обусловленным первичной геохимической специализацией очагов магмообразования.

Институт геологических наук
АН Армянской ССР

Поступила 23.IV. 1963.

Բ. Մ. ՄԵԼԻՔՍԵՏՅԱՆ

ՄԵՂՐՈՒ ՊԼՈՒՏՈՆԻ ԳՐԱՆԻՏՈՒԳՆԵՐԻ ԻՏՏՐԻԻ ԵՎ ՀԱՉՎԱԳՅՈՒՏ
ՀՈՂԵՐԻ ԳԵՈՔԻՄԻԱՅԻ ՇՈՒՐՋԸ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. լ. մ.

Գրանիտոիդներում իտտրիի և հազվագյուտ հողերի էլեմենտների գեոքիմիան ուսումնասիրված է ոչ բավարար: Սույն հոդվածում նկարագրվում է իտտրիի և հազվագյուտ հողերի վարքը և տարածումը Մեղրու սլոտոնի տարրեր հասակի գրանիտոիդներում, որը կաղմված է 3 ինտրուզիվ կոմպլեքսների մոնոցոնիտային, գրանոսիենիտային և պրանիտային ածանցյալներից: Պարզարանված է, որ սլոտոնի գրանիտոիդներն ըստ TR պարունակող ալիցեստր միներալների ասոցիացիայի պատկանում են: ապատիտ-սֆեն-օրտիտ-մոնացիտ-ցիրկոնային տիպին, ուր գերակշռողը հանդիսանում է կալցիումային ալիցեստրների ասոցիացիան, որը համապատասխանում է կրաքարով հագեցած գրանիտոիդներին:

Ռենտգենա-քիմիական անալիզների արդյունքները ցույց են տալիս, որ իտտրին հանդես է գալիս կլարկի և կլարկից ավելի բարձր քանակությամբ սահմաններում: Միևնույն ժամանակ ΣTR_2O_3 -ը 3—4 անգամ գերազանցում է կլարկին, ըստ որում հազվագյուտ հողերի կազմում ամենաբարձր պարունակությամբ (2—5 անգամ) հանդես է գալիս ցերիումի խումբը, մինչդեռ իտտրումի և հազվագյուտ հողերի քանակությունը կլարկից 1,5—2 անգամ ցածր է:

Գրանիտոիդային սլոտոնում իտտրին և հազվագյուտ հողերը հիմնականում (60—85%) ցրված են սֆենի, տալատիտի և ցիրկոնի մեջ, մասամբ էլ (35—15%) կազմում են ինքնուրույն միներալներ՝ օրտիտ, կսենոտիմ և մոնացիտ: Միայն նրանց ոչ մեծ մասը ցրված վիճակում հանդես է գալիս ապար կազմող միներալներում: Նշված ալիցեստրների ռենտգենա-քիմիական անալիզները վկայում են նրանց հազվագյուտ հողային՝ գերազանցապես ցերիումային և նեոդիմային բնույթի մասին, միայն ցիրկոնում և սֆենում հանդիպում են իտտրիի հազվագյուտ հողերը:

Ինտրուզիվ մագմատիկ գործունեության վարդաշման ժամանակ մոնոցոնիտներից դեպի պրանիտները փոխանցվող ապարներում և կրող-միներալներում դիտվում է Y և ΣTR քանակության աճ, ըստ որում պարբերական աղյուսակի

լանտանոիդների շարքում նկատվում է զգալի առաջընթաց դեպի ձախ՝ այսինքն՝ $\Sigma TR:Y$ և $TR_{Ce}:TR_Y$ հարաբերության աստիճանական նվազում:

Իտարիի և հազվագյուտ հողերի տեղարաշխման առանձնահատկությունները թույլ են տալիս պլուտոնի գրանիտոիդները վերադրել հազվագյուտ հողալի-ցերումային գեոքիմիական տիպին և հազվագյուտ հողերի այդ հարաբերությունները օգտագործել որպես պետրոգրաֆիական պրոցեսների ինդիկատոր և նույնահասակ ինտրուզիվ դանգվածների միմյանց հետ համեմատելու համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Вайнштейн Э. Е. и А. И. Тугаринов, О закономерностях в распределении редких земель в некоторых минералах. Геохимия, № 2, 1958.
2. Вайнштейн Э. Е., Тугаринов А. И. Закономерности распределения редких земель, циркония и гафния в изверженных породах. Сб. «Геохимия редких элементов в связи с проблемой петрогенеза». Изд. АН СССР, 1959.
3. Гаврилова Л. К. и Туранская Н. В. Распределение редких земель в породообразующих и акцессорных минералах некоторых гранитов. Геохимия, № 2, 1958.
4. Меликсетян Б. М. Об акцессорном ортите Мегринского плутона. Изв. АН АрмССР, (сер. геолого-географ.), № 1, 1960.
5. Меликсетян Б. М. Акцессорные минералы Мегринского плутона. Изв. АН АрмССР, (сер. геолого-географ.), № 2, 1960.
6. Мкртчян С. С. Зангезурская рудоносная область. Изд. АН СССР, 1958.
7. Семенов Е. И. Изоморфизм и эндокриптия редких земель. Геохимия, № 7, 1957.
8. Семенов Е. И., Баринский Р. Л. Особенности состава редких земель в минералах. Геохимия, 4, 1958.
9. Таусон Л. В. Геохимия редких элементов в гранитоидах. Изд. АН СССР, 1962.