

Б. М. МЕЛИКСЕТАН

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД МЕГРИНСКОГО ПЛУТОНА

В настоящее время щелочные породы рассматриваются не только как сырье на глинозем, но и как источник многих редких элементов, таких, как цирконий, ниобий, титан, редкие земли, галлий и др.

Несмотря на сравнительно детальную изученность щелочных пород Мегринского района, некоторые вопросы их минералогии и геохимии все еще остаются не освещенными. Результаты минералого-геохимических исследований щелочных фаций сложного Мегринского плутона изложены в настоящей статье.

Геологическое положение щелочных пород

В геологическом отношении щелочные породы описываемого района локализованы в пределах ранней фазы Мегринского плутона верхнеэоцен-олигоценового возраста [9]. Согласно новейшим представлениям [8, 9], формирование плутона происходило в три главные фазы.

I. Породы «монцонитового ряда» (кварцевые и бескварцевые монцониты, сиенито-диориты и др.), с которыми петрогенетически связаны породы основного и щелочного составов.

II. Граносиениты, гранодиориты, а также банатиты и диориты.

III. Порфировидные граниты, гранодиориты и граносиениты.

В соответствии с фазами внедрения интрузии выделяются фазы и этапы внедрения жильных пород [9].

Щелочные породы локализованы вдоль восточного и юго-восточного контакта гибридной монцонитовой интрузии в тесной ассоциации с монцонитами и сиенито-диоритами и образуют несколько пространственно разобщенных друг от друга выходов.

1. Шванидзорский комплекс лейкократовых пегматоидных и средне-мелкозернистых щелочных сиенитов площадью 65 кв. км. Расположен в юго-восточной части плутона в бассейне рр. Шванидзор и Алдара и приурочен к антиклинальной структуре близширотного направления. Щелочные породы залегают среди сиенито-диоритов и монцонитов, с которыми связаны постепенными, иногда довольно сложными

взаимопереходами, контактируя на северо-западе с верхнедевонскими известняками и порфиритами. На юге в контакте с щелочными сиенитами породы сиенитизированы и пронизаны многочисленными тонкими инъекциями сиенитов, приобретающими здесь меланократовый облик. В северном экзоконтакте небольшой участок кровли подвергнут интенсивной амфиболитизации и также пронизан альбитовыми прожилками. Несколько более мелких (площадью 1 кв. км) выходов аналогичных щелочных пород среди поля сиенито-диоритов встречаются на юго-восточных склонах горы Қалакар. Породы этого комплекса детально изучены А. И. Адамяном [1].

2. Калерский выход мелко-среднезернистых щелочных сиенитов площадью 3—4 кв. км; отмечен впервые А. И. Адамяном [1] в верховьях р. Ванк около с. Калер среди монцонитов и тонолитов вблизи от контакта со среднеэоценовыми порфиритами.

3. Пхрутский выход щелочных сиенитов и нефелиновых монцонитов с метасоматическими линзами и прожилками альбититов. Площадь выхода 10—12 кв. км. Здесь щелочные породы совершенно постепенно переходят в типичные монцониты. На северо-западе они контактируют с вулканогенно-осадочной толщей среднего эоцена, представленного порфиритами, туфами и туфобрекчиями. Указанный выход впервые установлен в 1954 г. Е. А. Исаханяном и А. С. Арутюняном.

Таким образом, общей закономерностью распространения щелочных пород в пределах монцонитовой интрузии является их локальная приуроченность к восточному и юго-восточному контакту интрузии с вулканогенно-осадочными породами среднего эоцена и нижнего палеозоя, представленными различными порфиритами, их туфами, доломитами и известняками, и обилие в них различной степени сиенитизированных ксенолитов.

Петрографические типы щелочных пород

В строении описанных выше выходов щелочных пород принимают участие различные структурные и минералогические типы щелочных сиенитов, меньшим распространением пользуются нефелинсодержащие монцониты и эндоконтактные меланократовые щелочные сиениты. Не вдаваясь в детальную характеристику уже описанных в литературе [1, 2] щелочных пород Шванидзорского массива, вкратце остановимся на описании главных типов щелочных пород.

Щелочные пегматоидные лейкократовые сиениты. Развита эта порода в центральной части Шванидзорского комплекса и образует три небольших изолированных выхода среди поля сиенито-диоритов. Площадь их распространения составляет 85% площади, занимаемой Шванидзорским комплексом. Они представлены серовато-белыми и серовато-розовыми крупнозернистыми (размер зерен 2—3 см) породами, с пятнистыми выделениями фемических минералов.

Структура породы гипидиоморфнозернистая, иногда пойкилитовая, а в альбитизированных участках паналлотриоморфнозернистая.

В минералогическом составе (табл. 1) участвуют: калишпат-пертит, олигоклаз-андезин, обыкновенная и щелочная роговая обманка, эгирин-авгит, биотит и эпидот; из вторичных — альбит, либнерит, цеолиты, содалит и канкринит. Нефелин очень редок. Лишь в контакте с нефелиновыми пегматитами отмечается слабая нефелинизация.

Щелочные средне-мелкозернистые сиениты. Макроскопически это мезократовые серые, темно-серые породы мелко-среднезернистого сложения (от 0,5—0,8 до 3—8 мм). Развиги они по периферии пегматоидных щелочных сиенитов в виде реакционной каймы, с которыми связаны постепенными переходами. Также совершенно постепенно переходят в окружающие их сиенито-диориты [1]. Почти аналогичные породы развиты в Пхрутском и Калерском выходах.

Структура породы гипидиоморфнозернистая, переходящая местами в аллотриоморфнозернистую. В отличие от лейкократовых разностей наблюдается возрастание содержания и номера плагиоклаза и темноцветных минералов (табл. 1). В некоторых разностях содержится нефелин.

Нефелиновые монцититы. Эти породы развиты в краевых частях Пхрутского выхода щелочных и нефелинсодержащих сиенитов, которые незаметно переходят в типичные монцититы.

Макроскопически эта разновидность характеризуется мезократовым обликом и сравнительной крупнозернистостью (0,1—0,3 см).

Структура породы гипидиоморфнозернистая, местами типично монцититовая, а в альбитизированных участках аллотриоморфнозернистая. Почти аналогичные породы встречаются в краевых частях Шванидзорского комплекса. Для них характерно высокое содержание темноцветных (табл. 1).

Щелочные меланократовые сиениты. Это гибридные породы, прослеживающиеся непрерывной полосой (ширина 200—250 м) вдоль южного контакта лейкократовых щелочных сиенитов с Шванидзор с амфиболитовыми сланцами. Внешне представляют собой темно-серые среднезернистые, иногда «огнейсованные» породы, содержащие до 40% темноцветных минералов. Структура породы аллотриоморфнозернистая, местами даже гранобластовая. По составу близки к тералитам.

Альбититы. Среди щелочных пород Пхрутского выхода отмечаются небольшие (0,3—1 м в поперечнике) линзообразные тела и прожилки метасоматических альбититов. Мелкие прожилки и гнезда альбититов отмечаются и в северном экзоконтакте щелочных сиенитов Шванидзорского комплекса среди амфиболитизированных пород.

Это грубозернистые, пегматоидные породы белого цвета, состоящие сплошь из крупнокристаллических индивидов альбита с крупными кристаллами роговой обманки и чешуек биотита. Очень редко встречается нефелин с продуктами разложения. Вокруг линз альбититов отмечается отчетливая оторочка биотитизации.

В Шванидзорском комплексе типичные альбититы не встречаются,

однако отмечаются зоны интенсивной альбитизации, приуроченные к контактовым участкам.

Пегматиты. Для щелочных пород района характерна однотипная жильная серия, представленная двумя возрастными группами:

А. Ранние существенно калиевые, микроклиновые и микроклин-мусковитовые слабозональные пегматиты. Распространены они главным образом в периферических частях выходов щелочных пород. По содержанию мусковита, корунда, биотита, турмалина, радиоактивных и ниобиевых минералов и текстурно-структурным особенностям выделяются типы и виды пегматитов.

Б. Поздние существенно натриевые полевошпатово-фельдшпатоидные отчетливо зональные, иногда полнодифференцированные, пегматиты. По соотношению калишпата, олигоклаза, нефелина, содалита, канкринита, меланита, турмалина, феррогастингсита и более редких минералов и текстурно-структурных особенностей выделяются минералогические типы, подтипы и виды пегматитов. Развиваются эти пегматиты в основном во внутренних, реже приконтактных частях выходов щелочных пород. Вопросы морфологии, минералогии и геохимии этих интересных образований в настоящем сообщении не рассматриваются.

Минералогический состав щелочных пород

Минералогический состав щелочных пород довольно однообразный. В различных количественных соотношениях встречаются (табл. 1) калишпат, плагиоклаз, щелочная и обыкновенная роговая обманка, монаклинный пироксен и редко нефелин. Из второстепенных минералов присутствуют альбит, содалит, канкринит, эпидот, цеолиты, либнерит и кальцит.

Калинатровый полевой шпат. Является преобладающим минералом щелочных пород района. Калишпат-пертит образует ксеноморфные по отношению к плагиоклазу крупные зерна. Пертитовые вроски в калишпате составляют 30—60%. Наиболее распространен волокнистый и пятнистый пертиты. Кроме того, отмечаются веретенообразный и шнуровидный микропертит. Несомненно, большая часть пертитовых вросков имеет аутометасоматическое происхождение, однако некоторая его часть образовалась в результате экссолуционного распада. Судя по многочисленным замерам оптической ориентировки и 2V, калишпат относится к калиевому анортоклазу. Угол

$$\perp (001) : Nm = 9-11^\circ; -2V = 52-76^\circ.$$

Плагиоклаз. Представлен идиоморфными, иногда слабозональными кристаллами размером 1—25 мм. Разница в составе внутренних и внешних зон не превышает десяти номеров. Содержание и основность плагиоклаза при переходе от лейкократовых сиенитов к среднезернистым и меланократовым разностям увеличивается. Состав плагиоклаза в щелочных породах разнообразный. Наряду с плагиоклазом № 32—37 присутствует олигоклаз № 26—28, альбит-олигоклаз и альбит № 0—15. Последний составляет иногда 10—15% породы.

Пироксен моноклиный. Отличается заметно изменчивым составом. В нефелиновых монцонитах он представлен ферросалитом с примесью эгириновой молекулы, особенно по краям зерен ($c : Ng = 42-46^\circ$; $2V = +58-63^\circ$, $N'_g = 1,732$, $N'_p = 1,708$). В шванидзорских сиенитах наряду с салитом ($2V = +58^\circ$, $c : Ng = 44^\circ$, $N'_g = 1,725$, $N'_p = 1,700$) присутствуют зоны бледно-зеленого эгирин-авгита с 12-15% эгириновой молекулы ($-2V = 68^\circ$, $c : Ng = 55^\circ$, $N'_g = 1,731$, $N'_p = 1,703$) и даже эгирина ($-2V = 78^\circ$, $c : Ng = 5^\circ$, $N'_g = 1,746$, $N'_p = 1,722$). В виде мелких овальных зерен метасоматического происхождения присутствует зеленый эгирин-авгит с 20% эгириновой молекулы ($-2V = 70^\circ$, $c : Ng = 57^\circ$, $N'_g = 1,736$, $N'_p = 1,708$).

Таким образом, в моноклиновых пироксенах щелочных пород четко проявлен метасоматический процесс эгиринизации.

Таблица 1

Средний количественно-минералогический состав щелочных пород
(в объемных %)*

Разновидности щелочных пород	Калишпат-пертит	Плагиоклаз		Альбит	Биотит	Роговая обманка	Моноклиный пироксен	Нефелин	Вторичные	Аксессорные
		%	№							
Лейкократовый щелочной сиенит с. Шванидзор	54,7	21,6	26-32	10,9	0,3	7,8	1,2	0,5	2,2	1,6
Средне-мелкозернистый щелочной сиенит с. Шванидзор	50,6	23,2	33-37	5,9	1,6	10,8	1,4	0,8	3,4	2,3
Среднезернистый щелочной сиенит с. Пхрут	42,2	26,3	26-28	13,6	6,2	4,4	3,2	—	2,8	1,3
Нефелиновый монцонит с. Пхрут	32,4	30,6	32-33	10,0	5,8	5,2	10,4	1,2	2,6	1,6
Меланократовый щелочной сиенит с. Шванидзор	30,9	29,4	37-40	1,8	7,2	10,6	13,7	2,2	0,8	3,4
Альбитит с. Пхрут	11,2	10,3	10-12	68,4	4,2	2,6	1,2	0,6	0,8	0,7

Роговая обманка. Является наиболее распространенным цветным минералом. Состав роговой обманки, так же как и пироксена, непостоянен. В пхрутских и калерских породах роговая обманка сильно железистая, содержит 75% железистого компонента ($-2V = 62^\circ$, $c : Ng = 17^\circ$, $N'_g = 1,708$, $N'_p = 1,688$). В шванидзорских щелочных сиенитах очень редко отмечаются мелкие самостоятельные зерна синезеленого феррогастингсита ($-2V = 53^\circ$, $c : Ng = 12^\circ$, $N'_g = 1,714$, $N'_p = 1,698$). Крупные зерна зональные: ядро — железистая (70% железистого компонента), бурозеленая роговая обманка ($-2V = 68^\circ$, $c : Ng =$

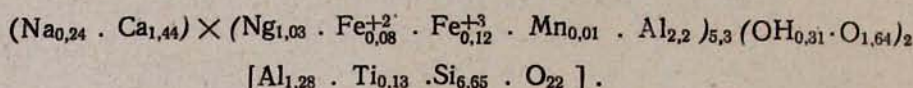
* По данным А. И. Адамяна [1] и автора.

$=15^\circ$, $N'_g=1,694$, $N'_p=1,672$); край — феррогастингсит ($-2V=58^\circ$, $c:N_g=$
 $=13^\circ$, $N'_g=1,710$, $N'_p=1,693$). Для феррогастингсита характерна следу-
 ющая ориентировка: $\perp(110):N_g=62^\circ$, $\perp(110):N_m=86^\circ$, $\perp(110):N_p=$
 $=29^\circ$. Роговая обманка обычно замещает моноклинный пироксен.

Химический состав (аналитик Г. Петросян) полущелочной роговой обманки следующий (в весовых %):

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	+ N ₂ O	- N ₂ O	Сумма
46,0	1,09	20,5	7,58	5,67	0,85	7,56	9,31	—	0,87	0,36	0,07	99,86

Кристаллохимическая формула:



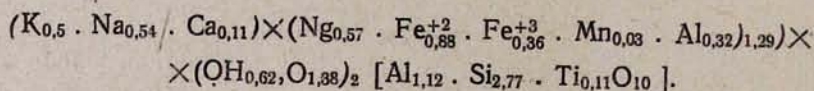
Характерной особенностью роговой обманки из щелочных сиени-
 тов является ее высокая глиноземистость и железистость (65%), а
 также высокое содержание CaO и MgO.

Биотит. Встречается в подчиненном количестве. Развивается
 обычно в виде реакционной каемки вокруг зерен роговой обманки, пи-
 роксена и включенных в плагиоклаз зерен магнетита. Кроме того,
 встречается метасоматический биотит, развивающийся по микротрещи-
 нам и вокруг альбититовых линз.

Светопреломление $N_m=1,662-1,669$, что соответствует биотиту с
 65—78% железистого компонента [10]. Химический состав биотита
 (аналитик Г. Джербашян) из щелочных сиенигов следующий (в весо-
 вых %):

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	+H ₂ O	-H ₂ O	Сумма
35,60	1,9	16,66	6,46	13,48	0,41	13,57	1,34	5,08	3,54	1,20	0,60	99,84

Кристаллохимическая формула:



Для биотита из щелочных сиенигов характерна высокая желези-
 стость (80%) и высокое содержание Na₂O и TiO₂.

Эпидот. Образует желто-зеленоватые идиоморфные зерна вклю-
 ченных между зернами полевых шпатов. Слабо плеохроитует; $N'_g=$
 $=1,752$, $N'_p=1,724$, что соответствует эпидоту с 15% железистого ком-
 понента.

Нефелин. Встречается редко в виде ксеноморфных зерен; обыч-
 но замещается канкринитом, цеолитом, либнеритом и др. Является

одним из поздних минералов. Сравнительно часто нефелин встречается в нефелиновых монцонитах. Вокруг нефелин-сиенитовых пегматитов, особенно разветвляющихся, наблюдается слабая нефелинизация.

Содалит и канкринит. Встречаются редко как вторичные продукты по нефелину. Обычно ассоциирует с альбитом, белой слюдой и др.

Либенерит. Образует микрочешуйчатые агрегаты (размер чешуек 0,05—0,1 мм), развивающиеся по нефелину совместно с другими вторичными минералами.

Цеолит. Часто встречается в лейкократовых щелочных сиенитах в виде округлых шаровидных зерен размером до 1 см. В шлифах образует радиально-лучистые агрегаты. Удлинение положительное. Двуосный положительный. $Ng = 1,480 \pm 0,002$, $Np = 1,468 \pm 0,002$. Относятся к натролиту.

Кальцит. Образует небольшие зерна среди вторичных по нефелину минералов. Очень редко образует ксеноморфные двойникового строения зерна в стыках зерен полевых шпатов.

Большинство описанных выше минералов из щелочных пород в главной своей массе при высокотемпературных автометасоматических процессах либо изменяет состав в сторону увеличения их железистости, либо в результате перекристаллизации образуется вновь (вторая генерация). По мнению многих исследователей [4], автометасоматические процессы (эгиринизация, феррогастингтитизация, нефелинизация, содалитизация и др.) играют важную роль в образовании щелочных пород.

Особенности химического состава щелочных пород

Средний химический состав Мегринского щелочного сиенита очень близок к нормативному составу щелочных сиенитов по Дэли. Для щелочных пород наблюдаются некоторые отклонения: лейкократовых щелочных сиенитов к щелочно-земельным сиенитам, среднезернистых щелочных сиенитов к нефелиновым монцонитам, меланократовых щелочных сиенитов к тералитам (табл. 2).

Характерными особенностями щелочных пород района является: 1) относительно небольшое содержание щелочей, никогда не достигающее избытка по сравнению с Al_2O_3 (коэффициент агпаитности $\sim 0,5$), что характерно для миаскитового типа щелочных пород; 2) постоянное, хотя и не резкое, преобладание K_2O над Na_2O (за исключением сильноальбитизированных разностей) при отношении $K_2O:Na_2O = 1—1,3$ и сумме щелочей 9—12%; 3) отношение $FeO:MgO$ всегда больше единицы; отношение $FeO:Fe_2O_3$ для лейкосиенитов больше единицы и для мезо-меланократовых — меньше; 4) щелочные породы в целом характеризуются высокой известковистостью, при $CaO > MgO$.

Указанные особенности химизма пород нашли свое отражение и в их минералогических особенностях. Для фемических минералов характерна высокая глиноземистость, железистость и щелочность, а также

Химический состав щелочных пород (в весовых %)*

Окислы в %	Щелочной лейкоси- енит	Щелочной среднезерни- стый сиенит	Нефелиновый монзонит	Щелочной ме- ланократовый сиенит	Щелочной сне- нит, среднее из 8 анализов	Числовые характеристики по А. Н. Заварицкому					
						№	I	II	III	IV	V
№	I	II	III	IV	V	пара- метры	I	II	III	IV	V
SiO ₂	57,36	57,00	54,00	55,98	56,68	a	18,3	20,3	12,5	20,2	18,5
TiO ₂	0,10	0,30	0,28	0,40	0,29	c	3,5	3,3	10,1	3,8	5,8
Al ₂ O ₃	23,36	19,21	22,37	20,72	21,20	b	12,2	8,3	10,8	11,6	7,1
Fe ₂ O ₃	1,65	4,90	1,77	5,54	2,50	S	66,0	68,1	66,7	64,4	68,6
FeO	2,32	1,42	4,08	2,36	2,26	a'	50,9	—	—	—	—
MnO	0,21	0,17	0,07	0,06	0,15	f'	32,2	69,8	54,8	61,1	67,3
MgO	1,17	0,05	2,53	2,02	1,22	m'	16,9	0,9	42,5	29,9	30,6
CaO	2,89	4,54	7,80	4,00	4,01	c'	—	29,3	2,7	9,0	2,1
Na ₂ O	4,62	3,47	3,80	5,28	4,61	n	55,6	52,1	71,7	51,8	58,6
K ₂ O	5,56	6,44	2,26	5,82	5,06	t	0,1	0,1	0,4	0,7	0,4
П. п. п . . .	0,15	2,42	0,45	0,74	1,28	φ	18,8	51,7	15,1	40,7	32,7
						Q	-8,1	-7,7	-1,6	-15,4	-5,6
Сумма . .	99,38	99,96	99,84	100,15	99,26						

преобладание CaO над MgO, а для калийных минералов — весьма незначительное развитие нефелина, высокая основность плагиоклаза и преобладающая роль калишпата.

Сиенито-диориты, монзониты и щелочные сиениты, имеющие друг с другом тесные петрографические взаимоотношения, образуют родственную петрохимическую серию щелочно-земельного и субщелочного химизма с заметным повышением щелочности в ряду монзонит—сиенит—щелочной сиенит.

Особенности распределения и состав акцессорных минералов

Со всех разновидностей щелочных сиенитов было взято и обработано 15 проб весом 10 кг. Обработка проб и методика исследования акцессорных минералов изложена в ранее опубликованной статье автора [8].

Кратко остановимся на характеристике встречающихся в щелочных породах акцессорных минералов.

Магнетит. Содержание магнетита возрастает параллельно с возрастом фемических минералов в щелочных сиенитах от 0,6 до 2,4%. Образует довольно крупные (0,5—1 мм) октаэдрические кристаллы с неравномерно развитыми или искаженными гранями. Магнетит, как правило, ассоциирует с фемическими минералами, нередко обрастая при аутометасоматических процессах железистым биотитом и ферро-

* Анализы № I и III по материалам автора; № II и IV заимствованы у А. И. Адамяна [1]. Все анализы выполнены в лаборатории ИГН АН СССР.

гастингситом. Спектральным анализом* установлены: Mn (0,01%), Ti (0,3—1,0%), Ni (0,003%), Co (0,003%), V (0,05%), Ga (0,01—0,03%), Cu (0,01%), Zn (0,01%), Pb (0,001%) и др.

Титаномагнетит. Образует неправильной формы выделения преимущественно в мезократовых и меланократовых щелочных сиенитах. Размер зерен 5—10 мм. Содержание титана ~ 3%. Особенно крупные (3—4 см) кристаллы титаномагнетита встречаются в пегматитах.

Ильменит. Наиболее широко развит в среднезернистых сиенитах и нефелиновых монцонитах, в меньшей степени в лейкократовых щелочных сиенитах. Среднее содержание ильменита в породах 0,05%, причем в некоторых разностях сиенитов доходит до 0,1%. Ильменит образует пластинчатой формы выделения, размером 2—3 мм, в стыках зерен полевых шпатов в ассоциации с апатитом, сфеном и титаномагнетитом.

Характерной особенностью ильменита является высокое содержание в нем ниобия (0,1—0,3%) и тантала (0,03%). Из других примесей отметим V (0,003%), Zr (0,03%), Mo (0,003%), Ga (0,01%), La (0,01%), Pb (0,003%), Sn (0,001%).

Апатит. Весьма характерный акцессорный минерал щелочных пород. Среднее содержание апатита 0,64%. Наблюдается закономерное возрастание содержания апатита от среднезернистых сиенитов (0,5%) к пегматоидным лейкократовым сиенитам, где оно достигает 1,4%, а редко и более (3—4%).

Участки лейкократовых сиенитов, обогащенных апатитом (апатитизация), обычно интенсивно альбитизированы. Как в нефелиновых монцонитах, так и альбититах с. Пхрут содержание апатита высокое (0,7—1,5%). Изометричные зерна апатита, размером 0,5×2 мм, редко 1×3 мм, обычно включены в биотит и феррогастингсит. Очень часто ассоциирует с альбитом, нефелином и калишпатом.

Выделяются два морфогенетических типа апатита: 1) водяно-прозрачные бледно-голубые апатиты длиннопризматического габитуса с хорошо развитыми гранями гексогональной призмы (1100), двух бипирамид (1101) и (2111) и базопинакоида; 2) мутные, темноокрашенные сильно корродированные апатиты короткопризматического габитуса. Дымчатая окраска апатита обусловлена включениями тонкодисперсных частичек темных минералов и обычно слабо плеохроитует. Такие апатиты характерны для щелочных пород сс. Пхрут и Калер, а также для среднезернистых и меланократовых щелочных сиенитов.

Судя по показателю преломления ($N_g = 1,638$, $N_p = 1,632$), бледно-голубые апатиты щелочных сиенитов относятся к существенно фторосодержащим апатитам.

Для апатита из щелочных сиенитов характерно высокое содержание (табл. 6) редких земель ($\Sigma TR_2O_3 = 2,40\%$), тория (0,06% и урана (0,005%), причем в составе редких земель преобладают лантаноиды

* Спектральные анализы выполнены в лаборатории ИГН АН АрмССР Г. М. Мкртчяном и М. Я. Мартиросьяном.

цериевой и неодимовой группы (табл. 5). Кроме того, спектральным анализом установлены: Mn (0,03%), Cu (0,003%), Pb (0,003%), Ga (0,003%), Y (0,10%), Sr (0,3%), Ba (0,1%), Li (0,001%).

С ф е н. Наиболее широко распространенный после магнетита акцессорный минерал. Во всех разновидностях щелочных сиенитов образует крупные (0,5—2 мм) удлиненно призматические кристаллы, имеющие в шлифах ромбовидные очертания. Нередко образует ксеноморфные выделения с полисинтетически двойниковым строением. Выделяются два морфогенетических типа сфена: 1) ранние, бледно-желтые, желтые удлиненно-призматические кристаллы с хорошо развитыми гранями (110) и (111), реже (100). Размер кристаллов не более 2—6 мм. Встречается во всех разновидностях щелочных сиенитов и очень редко в нефелиновых монцонитах и альбититах; 2) поздние буро-коричневые табличкообразные кристаллы с хорошо развитыми гранями (111), (100) и (201) и редко бесформенные выделения. Размер кристаллов 1—2 см. Встречается только в лейкократовых пегматоидных щелочных сиенитах, нередко образуя кучные скопления. Образование бурого сфена протекает в аутометасоматическую стадию изменений в породе.

Содержание сфена в среднем 0,75%. В мезократовых сиенитах не выше 0,5%, а в нефелиновых монцонитах и альбититах встречается в единичных зернах (0,1%). В лейкократовых сиенитах — 0,5—1,0%, однако очень часто отмечаются участки с содержанием более 2—3% сфена, а в меланократовых сиенитах около 5—6%. Сфен широко распространен в пегматитах. Для сфена бледно-желтого цвета характерна ассоциация с биотитом и роговой обманкой.

Таблица 3

Количественные соотношения акцессорных минералов в щелочных сиенитах (в весовых %)

Минералы	Пределы колебания	Среднее содержание	Минералы	Пределы колебания	Среднее содержание
Магнетит . . .	0,6 — 2,4	0,85	Бетафит . . .	Ед. знаки — 0,001	Ед. знаки
Титано-магнетит	0,1 — 0,3	0,15	Бадделейт . . .	Ед. знаки — 0,008	0,003
Ильменит . . .	0,01 — 0,1	0,05	Лейкоксен . . .	0,01 — 0,03	0,02
Апатит	0,5 — 1,4	0,64	Турмалин . . .	0,005 — 0,02	0,015
Циркон	0,1 — 0,6	0,21	Флюорит . . .	0,05 — 0,6	0,15
Сфен	0,5 — 3,0	0,75	Пирит	0,001	0,001
Циртолит . . .	0,01 — 0,02	0,015	Халькопирит . .	Ед. знаки	Ед. знаки
Ортит	0,005 — 0,02	0,01	Молибденит . .	Ед. знаки	Ед. знаки
Монацит	0,03 — 0,2	0,05	Торит	Ед. знаки — 0,001	0,001
Анатаз	Ед. знаки — 0,002	0,001	Корунд	Ед. знаки	Ед. знаки

Бурый сфен образует выделения в интерстициях полевых шпатов и ассоциирует с альбитом и нефелином.

Сфен из щелочных пород характеризуется высоким содержанием иттрия (2,5%) и редких земель (1,65%). Химическими анализами (табл.

б) в сфенах установлены также Nb_2O_5 —0,3%, ThO_2 —0,18% и уран (0,005%).

По содержанию отдельных лантаноидов сфены характеризуются высоким содержанием La, Ce, Pr, Nd и Sm. Более тяжелые лантаноиды иттриевой группы имеют подчиненное значение (табл. 5).

Сфен щелочных сиенитов является основным концентратором ниобия, иттрия, редких земель и радиоэлементов. Полуколичественным спектральным анализом установлены: Mn (0,03—0,1%), Co (0,003%), V (0,03%), Zr (0,1%), Hf (0,03%), Nb (0,3%), Cu (0,01%), Pb (0,01%), Sn (0,01%), Ga (0,01%), La (0,3%), Ce (0,3%), Sr (0,3%), Ba (0,1%), Li (0,001%), Be (0,0003%) и Th (0,1—0,3%).

Циркон. Встречается в виде хорошо образованных коротко-призматических кристаллов розового цвета. Размер кристаллов в среднезернистых сиенитах — 0,5—1,0 мм, в пегматоидных — 1,5—3 мм, редко — 5 мм. Удлинение (отношение длины кристалла к ширине) разное 1:1,5—1:1,7.

Основными кристаллографическими формами являются: тетрагональная призма (110) и тетрагональная бипирамида (111). Очень слабо развиты грани (311), (331) и (110). Грани кристаллов обычно развиты неравномерно. Цвет циркона в Шванидзорских щелочных породах — розовый различной интенсивности и бесцветный в нефелиновых монцонитах и щелочных сиенитах с. Пхрут. Следует отметить, что бесцветные мелкие цирконы как в сиенито-диоритах, так и в щелочных породах являются ранними — магматическими. Розовые крупные цирконы в лейкократовых сиенитах большей частью являются метасоматического происхождения, как и аналогичные цирконы из других фаций монцонитовой интрузии. В нефелиновых монцонитах с. Пхрут вместо позднего циркона образуется бадделейт. Розовый циркон образует интерстициальные искаженные кристаллы в ассоциации с биотитом, альбитом, нефелином и феррогастингситом. В цирконах, обычно включенных в поздние минералы, очень много газово-жидких пузырей, микротрещин, включений апатита, роговой обманки и др.

Подобно сфену и апатиту, циркон является характерным акцессорным минералом щелочных пород. Среднее содержание циркона в породах — 0,21%, причем лейкократовые разности более обогащены — 0,5—0,6% (особенно альбитизированные участки), чем мезо-меланократовые разности — 0,1—0,2%. Очень мало циркона в щелочных породах и альбититах с. Пхрут — 0,05—0,1%.

В цирконах из щелочных сиенитов химическими анализами (табл. 4) установлены: иттрий (1,0%), редкие земли (0,30%), ниобий (0,01%), гафний (0,49%), торий (0,07%) и уран (0,04%).

Обращает на себя внимание высокое цирконий-гафниевое отношение в цирконах — 86 (в гранитоидах 35—40). Характерной особенностью состава (табл. 5) редкоземельных элементов является одинаково высокое содержание лантаноидов цериевой (La, Ce), неодинаковой (Pr, Nd) групп, с одной стороны, и эрбиевой (Er, Tm) и иттербиевой (Yb, Lu) групп — с другой. Помимо этих элементов в цирконах спектро-

Содержание редких земель, иттрия, ниобия, гафния, тория и урана
в аксессуарных минералах из щелочных сиенитов*

Минералы	Содержание в породе в весовых %	Содержание в весовых %					
		$\Sigma \text{TR}_2\text{O}_3$	Y_2O_3	Nb_2O_5	HfO_2	ThO_2	U общ.
Апатит	0,64	2,40	0,10	—	—	0,06	0,005
Сфен	0,75	1,65	2,50	0,30	0,03	0,18	0,005
Циркон	0,21	0,30	1,00	0,01	0,49	0,07	0,040
Ортит	0,01	21,0	0,16	0,01	—	1,28	0,012
Монацит	0,05	62,3	2,50	—	—	5,26	0,620

скопически установлены: Fe (0,3—1,0%), Mn (0,03—0,1%), Ti (0,3%), Cu (0,003%), Pb (0,003%), Ga (0,003%), Be (0,001%), Ba (0,3%) и др.

Циртолит. Полуметамиктные непрозрачные цирконы серовато-желтого цвета встречаются очень редко. Обычно они имеют бипирамидально-призматический габитус с сильно корродированными гранями. Циртолит более характерен для лейкократовых сиенитов, где его содержание достигает 0,01—0,02%. Спектральным анализом устанавливаются следующие элементы—примеси: Hf (0,3—1,0%), Nb (0,1%), Be (0,01%), Th (0,3—1%), U (1—3%), Pb (0,3%), Y (3—5%), Yb (0,3—1,0%), Ce (0,1—0,3%), Li (0,003%) и др.

Ортит. Встречается в виде мелких (0,1 мм) кристалликов таблитчатой формы и неправильных осколков. В иммерсии просвечивает красно-бурым цветом. Плеохроизм резкий — в желто-бурых тонах. $N_g = 1,752 \pm 0,003$, $N_p = 1,740 \pm 0,003$. Содержание в породах невысокое — 0,01%. Более характерен для среднезернистых щелочных сиенитов краевых фаций и нефелиновых монзонитов [8].

Таблица 5

Содержание отдельных лантаноидов в аксессуарных апатитах, сфенах, ортитах и цирконах из щелочных пород**

Минералы	Содержание $\Sigma \text{TR}_2\text{O}_3$ в %	Содержание редких земель в % от $\Sigma \text{TR}_2\text{O}_3$, принятое за 100%													
		La	Ce	Pz	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Ez	Tu	Yb	Lu
Апатит	2,40	25,0	44,0	4,4	23,0	1,8	0,2	1,1	0,2	0,5	—	—	—	—	—
Сфен	1,65	19,0	43,0	6,1	23,0	3,4	0,3	0,9	0,15	0,9	0,2	0,3	—	0,2	—
Циркон	0,30	18,0	45,0	3,4	9,0	1,5	0,1	1,5	0,2	2,3	0,5	5,0	1,0	11,0	1,9
Ортит	21,0	39,0	58,0	3,4	6,5	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* Определения $\Sigma \text{TR}_2\text{O}_3$, Y_2O_3 , Nb_2O_5 и ThO_2 выполнены в химической лаборатории ИМГРЭ АН СССР. Анализы на уран — С. С. Акоповой. Содержание HfO_2 определено рентгеноспектральным методом в Институте геохимии им. Вернадского.

** Содержания редких земель даны по результатам рентгеноспектральных анализов, выполненных в ИМГРЭ АН СССР Р. А. Баринским.

По составу ортит относится к цериевой разновидности с высоким содержанием La, Pr и Nd [8]. Химическими анализами (табл. 5) обнаружены: Y_2O_3 (0,16%), ThO_2 (1,28%), уран (0,012%) и Nb_2O_5 (0,01%). Из других элементов примесей присутствуют: Sc (0,001%), Ga (0,03%), Be (0,003%), Li (0,001%), Zr (0,3—1,0%), Cu (0,01%), Sr (0,03%), Ba (0,01%), V (0,003%) и др.

Монацит. Наиболее характерный редкоземельный минерал щелочных сиенитов. Монацит встречается в виде бесцветных или бледно-желтых таблитчатых по (100) кристаллов размером 0,4—0,6 мм. В шлифах наблюдается в виде идиоморфных кристаллов прямоугольного сечения с хорошо заметной спайностью по (001) и (100). Оптически положителен. Угол $\epsilon:Ng=2-3^\circ$, $2V=12-16^\circ$. Дисперсия оптических осей заметная, $\gamma > V$. Очень слабо плеохроирует. Обычно монацит приурочен к стыкам зерен полевых шпатов. Содержание монацита в лейкократовых пегматоидных сиенитах достигает 0,1%, особенно много его в альбитизированных и флюоритизированных участках (в 1 км вверх по р. Шванидзор). В среднезернистых сиенитах и нефелиновых монацитах встречается реже—0,03—0,05%. Монацит встречается также в экзоконтактовых амфиболизированных породах (кочевка Гюморац). Химический состав монацита приведен в табл. 5. Характерно высокое содержание лантана и церия (62,3%), а также иттрия (2,5%), тория (5,26%) и урана (0,62%). Очень часто устанавливаются: Ti (0,3—1,0%), Sc (0,001—0,003%), Be (0,001%), Pb (0,003%) и др.

Бетафит. Встречается очень редко. Единичные зерна бетафита были обнаружены в нефелиновых монацитах и альбититах с. Пхрут и альбитизированных участках лейкократовых нефелинсодержащих разностях щелочных сиенитов. Сравнительно часто встречается в пегматитах.

Образует октаэдрические кристаллы бур-коричневого цвета. Размеры кристаллов 0,04—0,08 мм. Бетафит ассоциирует с монацитом, цитролитом, бадделейтом и альбитом; в тонких осколках просвечивает желто-оранжевым цветом. Изотропен. Рентгенометрическая характеристика бетафита приведена в табл. 6. Судя по условиям нахождения, бетафит образуется за счет изменения первичного пироклора при поздних метасоматических процессах. Спектральным анализом в бетафите обнаружены: Ca (3%), Fe (1,0%), Ti ($>5\%$), Nb (1—3%), Ta (0,1—0,3%), Y ($>1\%$), La (0,3—1,0%), Ce (0,3—1,0%), U ($>3\%$), Th ($\sim 3,0\%$), а также следы: Be (0,001%), Sn (0,001%), Pb (0,003%).

Таблица 6

Рентгенометрическая характеристика бетафита*

№ линий	I	$\frac{d\lambda}{n}$ (Å)	№ линий	I	$\frac{d\lambda}{n}$ (Å)
1	7	3,26	10	1,5	1,273
2	9	3,00	11	1,5	1,145
3	4	2,80	12	2	1,044
4	4	2,57	13	2	0,986
5	5	1,97	14	1,5	0,936
6	7	1,82	15	1	0,925
7	3	1,67	16	2	0,865
8	5	1,55	17	1,5	0,843
9	2	1,484	18	1	0,811

* Рентгенограмма выполнена в лаборатории ИМГРЭ АН СССР Ю. А. Пятенко. Условия съемки: λ Cu—Ni, $2R=0,57$; $2r=0,6$ мм образец прокален при $t=850^\circ$ 3ч.

Судя по данным анализа, для бетафита характерно преобладание U над Th и Y над Ce.

Бадделейт. Очень редкий и специфический для щелочных пород акцессорный минерал. Установлен в щелочных породах и альбититах с. Пхрут, реже в альбитизированных разностях лейкократовых щелочных сиенитов. Содержание его не более 0,003%. Бадделейт образует удлиненно-призматические сильно уплощенные кристаллы с резко выраженной вертикальной штриховкой. Цвет коричнево-бурый. Плеохроирует. Рентгенометрическая характеристика бадделейта дана в табл. 7.

Таблица 7

Рентгенометрическая характеристика акцессорного бадделейта

№ линий	I	$\frac{d\alpha}{n}$ (Å)	№ линий	I	$\frac{d\alpha}{n}$ (Å)
1	2	3,76	10	2	1,560
2	10	3,31	11	6	1,496
3	4	2,94	12	2	1,410
4	7	2,64	13	5	1,335
5	5	2,20	14	4	1,230
6	10	1,842	15	4	1,034
7	7	1,712	16	4	0,998
8	4	1,670	17	6	0,892
9	2	1,612	18	3	0,847

Спектральным анализом в бадделейте обнаружены: Zr ($\geq 10\%$), Hf (0,3%), Nb (0,03%), Y (0,01%), La (0,003%), Ti (0,03%). Образование бадделейта в щелочных породах связано с высокой подвижностью комплексных соединений циркония в резкощелочной среде, что в условиях недостатка кремнезема в позднемагматической стадии приводит к образованию бадделейта вместо розового циркона. Ассоциируемый с бадделейтом бесцветный циркон выделялся в магматическую стадию.

Торит. Очень редок. Редкие красновато-коричневые кристаллы тетрагонально-призматического облика, размером 0,08×0,1 мм, установлены в альбитах и альбитизированных участках щелочных сиенитов сс. Пхрут и Шванидзор. В иммерсии просвечивает желтым цветом. Изотропен $N=1,724\pm 0,003$. В ассоциации с торитом, кроме альбита, встречается мусковит, цитролит, бадделейт, турмалин, бетафит и др.

Спектральным анализом в торите, рентгенограмма которого приведена в табл. 8**, установлены следующие элементы: Th ($\geq 10\%$), Ca (1,0%), Fe (1—3%), Ti (0,1%), Zr (0,3—1,0%), Pb (0,1—0,3%), Li (0,001%), Be (0,001%), Y (0,3—1%), Yb (0,1—0,3%), U (0,1—0,3%), Sc (0,01%), P (0,3—1,0%) и др.

Торит более характерен для пегматитовых образований щелочных сиенитов.

Турмалин в незначительном ко-

Таблица 8

Рентгенометрическая характеристика акцессорного торита***

№ линий	I	$\frac{d\alpha}{n}$ (Å)	№ линий	I	$\frac{d\alpha}{n}$ (Å)
1	3	3,34	7	1	1,880
2	3	3,16	8	4	1,654
3	3	3,00	9	3	1,417
4	4	2,598	10	8	1,187
5	2	(2,06)	11	6	1,151
6	2	1,815	12	4	1,126

* Рентгенограмма выполнена в лаборатории Львовского госунта и рассчитана автором. Условия съемки λ Cu—Ni; D=86 мм, $\rho=0,7$ мм.

** Идентификация рентгенограмм бетафита, бадделейта и торита произведены по «Рентгенометрическому определителю минералов» В. И. Михеева, 1958.

*** Рентгенограмма выполнена в лаборатории Львовского госунта. Условия съемки: λ Fe, D=86 мм, $\rho=0,7$ мм, образец прокален при $t=860^\circ$, 3 ч.

личестве (0,015%) встречается во всех разностях щелочных сиенитов. Образует буро-черные призматические кристаллы и осколки неправильной формы. Размер зерен 0,14—0,2 мм. В иммерсионных препаратах резко плеохроирует в коричнево-зеленых тонах; обнаруживает зональное строение. $N'_g = 1,674 \pm 0,003$, $N'_p = 1,646 \pm 0,003$, что соответствует турмалину с 80% шерлового компонента. В турмалине присутствуют: Li (0,1—0,3%), Ga (0,3—0,5%), Ti (0,1—0,3%), Sr (0,03—0,1%); Be (0,001%), La (0,001%), Cu (0,01%), Pb (0,003%), V, Ni, Co и др.

Флюорит. Весьма характерный минерал щелочных лейкократовых сиенитов, где его содержание достигает 0,15—0,6%. В среднезернистых разностях и щелочных породах с. Пхрут сравнительно редок (0,05%). Флюорит образует октаэдрические кристаллы, однако чаще встречается в форме неправильных осколков размером 0,5—1 мм, редко 3—4 мм. Цвет фиолетовый, различной интенсивности. Окраска неравномерная. Содержание флюорита в лейкократовых пегматоидных сиенитах возрастает со степенью альбитизации пород. Процесс флюоритизации иногда проявляется и вдоль микротрещин, нередко образуя кучные скопления. Спектроскопически установлены: Be (0,003%), Ba (0,01%), Sr (0,1%), Y (0,3—1,0%), La (0,03—0,1%), Ga (0,001%), Mn (0,03—0,1%). Судя по высокому содержанию иттрия (0,3—1,0%), флюорит щелочных фаций относится к иттрофлюориту.

Лейкоксен. Представлен фарфоровидно-белыми агрегатами пластинчатого облика. Развивается вокруг титаномagnetита и ильменита.

Анатаз. Редок. В виде мелких (0,05—0,1 мм) остроугольно-бипирамидальных кристалликов черного цвета встречается в нефелиновых монцонитах с. Пхрут и среднезернистых щелочных сиенитах. Содержит: Nb (0,3—1,0%), Ta (0,03—0,1%), Zr (0,1—0,3%), Be (0,001%) и др.

Пирит. Встречается во всех разностях пород, но в незначительном количестве (0,001%). Образует куб-октаэдрические кристаллы.

Халькопирит и молибденит. В отдельных пробах щелочных пород с. Пхрут и лейкократовых сиенитах присутствуют в виде единичных зерен.

Корунд. Редок. Встречается в виде остроугольных желто-зеленых обломков в пегматоидных сиенитах и пегматитах.

Распространение акцессорных элементов

В щелочных породах описываемого района, кроме распространенных петрогенных элементов (Si, Al, Fe, Mg, Mn, Ca, Na, K и др.), присутствуют редкие и рассеянные элементы (Ti, Nb, Ta, Zr, TR, Ga, Th, Sr и др.), в благоприятных условиях образующие редкие акцессорные минералы или рассеивающиеся в решетках распространенных минералов. Ниже даются некоторые особенности в закономерности распределения наи-

более важных редких элементов, определения которых проводились в средних пробах рентгено-спектральными, спектральными и химическими анализами.

Л и т и й. Отмечен во всех разностях щелочных сиенитов, однако лейкократовые щелочные сиениты более обогащены литием ($5 \cdot 10^{-3} \%$), чем среднезернистые сиениты и нефелиновые монцониты ($3 \cdot 10^{-3} \%$), что несколько ниже кларка лития в изверженных породах ($5 \cdot 10^{-3} \%$ по А. П. Виноградову). Заметно обогащены литием пегматиты ($2 \cdot 10^{-2} \%$). Литий концентрируется в эгирин-авгитах (0,001%), феррогастингситах (0,001%), биотите (0,03—0,1%), турмалине (0,03%), мусковите (0,1—0,3%), плагиоклазе, альбите, калишпате (0,001—0,003%), нефелине, содалите, канкрините, эпидоте (0,001%), корунде (0,001%), бетафите (0,001%), ортите (0,003%), редко встречается в сфене, цирконе, лейкоксене, цеолите, флюорите (0,001%). Таким образом, основная масса лития сконцентрирована в породообразующих минералах.

Б е р и л л и й. Среднее содержание Be в щелочных породах равно $8 \cdot 10^{-4} \%$, что немногим больше кларка в нефелиновых сиенитах ($7 \cdot 10^{-4} \%$ по А. А. Беусу). Лейкократовые щелочные сиениты содержат до $1 \cdot 10^{-3} \%$ бериллия, а среднезернистые не более $5 \cdot 10^{-4} \%$. Основная масса бериллия в породах сосредоточена в алюмосиликатах, что в присутствии фтора в породах намного облегчает изоморфное замещение бериллием алюминия и кремния [3]. Так, в калишпате содержится 0,0003—0,001%, нефелине — 0,003—0,01%, эгирин-авгите — 0,001%, феррогастингситах — 0,001%, биотите — 0,003%, канкрините — 0,001%, корунде — 0,01%, ортите — 0,003%, сфене, цирконе — 0,0003—0,001%, турмалине — 0,003%, флюорите — 0,03—0,1%, бетафите — 0,001% и эпидоте — 0,001%.

Р у б и д и й. Данных по содержанию рубидия в породах нет. Рубидий отмечен в калишпате (0,017%) и в биотите (0,030%), где он изоморфно замещает калий. Судя по этим данным, содержание рубидия в щелочных сиенитах заметно понижено ($1 \cdot 10^{-3} \%$ против кларка в изверженных породах — $2,8 \cdot 10^{-3} \%$).

С т р о н ц и й и б а р и й. Средние содержания этих элементов, вычисленные по данным спектрального анализа, следующие: Sr — $1,5 \cdot 10^{-1} \%$; Ba — $2,5 \cdot 10^{-1} \%$, что значительно выше их кларков в изверженных породах (по К. Ранкама Sr — $3 \cdot 10^{-2} \%$, Ba — $2,5 \cdot 10^{-2} \%$). Стронций и барий являются наиболее характерными элементами щелочных сиенитов. Они отмечаются спектральными анализами во всех изученных минералах. К. А. Власов, М. В. Кузьменко и Е. М. Еськова [6] отмечают весьма заметное обогащение щелочных пород Ловозерского массива как стронцием (0,09—0,13%), так и барием (0,12—0,37%). Высокое содержание бария в Мегринских щелочных породах обусловлено отчетливо калиевым характером пород. Что же касается стронция, то его высокое содержание обусловлено, вероятно, карбонатной ассимиляцией. В частности, в известняках, обнажающихся в кон-

такте с щелочными сиенитами, обнаружено 0,3—1% стронция и 0,1—0,3% бария.

Стронций обнаружен в плагиоклазе (0,3%), пироксене (0,1%), феррогастингсита (0,1—0,3%), биотите (0,01%), нефелине, содалите, калишпате (0,03—0,1%), эпидоте (0,1%), апатите (0,3—1,0%), кальците (0,3—1,0%), сфене, флюорите, турмалине, цеолите (0,1—0,3%, редко 1,0%).

Барий присутствует в калишпате (0,3—1,0%), эгирин-авгите, феррогастингсита, плагиоклазе, альбите, нефелине, канкрините (0,01—0,03%), мусковите (0,3%), турмалине (0,1%), цеолите, сфене (0,03—0,1%) и др.

Галлий. В щелочных породах является наиболее распространенным рассеянным элементом. Среднее содержание галлия в щелочных породах района— $6 \cdot 10^{-3}$ %, что почти в четыре раза выше его кларка в изверженных породах ($1,6 \cdot 10^{-3}$ % по А. П. Виноградову).

Среднее содержание галлия в лейкократовых щелочных сиенитах ($8 \cdot 10^{-3}$ %) почти в два раза выше, чем в среднезернистых сиенитах и нефелиновых монзонитах ($3 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$ %), в нефелиновых пегматитах ($1,0 \cdot 10^{-2}$ %). В ходе кристаллизации щелочных пород Ga концентрируется в лейкократовых минералах: нефелине, содалите (0,03%), калишпате (0,003%), плагиоклазе, альбите (0,001—0,003%), магнетите (0,001%), сфене, эпидоте, турмалине, ортите (0,003—0,01%) и др. Максимальное содержание галлия установлено в корунде (0,3%).

Скандий и олово. В лейкократовых и среднезернистых щелочных сиенитах Sc и Sn не обнаружены. Скандий отмечается в меланократовых сиенитах (0,001%). Олово в виде примеси установлено в биотите (0,001—0,003%), сфене (0,003—0,010%), анатазе (0,003%), ильмените (0,001%), бетафите (0,001%), циртолите (0,003%), эгирин-авгите (0,001%).

Скандий присутствует в торите (0,01%), монаците (0,03%), редко в ортите, титаномagnetите (0,001%), цирконе (0,003%), циртолите (0,001%).

Элементы группы железа (Ti, V, Cr, Co, Ni, Mn). Из этой группы лишь титан является характерным элементом. Остальные элементы очень редко в тысячных долях процента устанавливаются в лейкократовых сиенитах и, как правило, накапливаются в мезо- и меланократовых щелочных сиенитах, где их содержание порядка 0,005—0,01%. Элементы группы железа концентрируются в железо-магнєвых силикатах и магнетите (0,01—0,03%).

Титан. Среднее содержание титана в щелочных лейкократовых сиенитах по данным химических анализов—0,29%, что значительно ниже его кларка в изверженных породах (по Ранкама 0,44%). Несколько выше содержание титана в мезо-меланократовых разностях (0,3—0,4%). Главная масса титана в породах сосредоточена в ильмените, сфене, биотите (1,9% TiO_2), феррогастингсита (1,09% TiO_2) и эгирин-авгите (0,3—1,0%). Причем на долю железо-магнєвых силикатов пород приходится 50% TiO_2 , а остальная часть—на собственно тита-

новые минералы. В рассеянном состоянии титан присутствует практически во всех изученных минералах. В щелочных сиенитах, обогащенных TiO_2 в виде сфена и ильменита, Nb и Ta почти целиком рассеиваются в этих минералах. В разностях же, содержащих небольшое количество TiO_2 (нефелиновые монцониты), ниобий образует бетафит.

Ниобий и тантал. Почти во всех изученных разностях щелочных сиенитов содержание ниобия—0,01%. В тяжелых фракциях из этих же пород содержание ниобия достигает 0,1—0,3%, а из альбититов и пегматитов—0,3—1%. По сравнению с кларком в изверженных породах (0,002% по А. П. Виноградову) среднее содержание ниобия в щелочных породах Мегринского плутона почти в пять раз выше, однако при сравнении с кларком в нефелиновых сиенитах (0,02% по Гольдшмиту)—почти в два раза понижено.

В лейкократовых и альбитизированных сиенитах ниобий встречается чаще, чем в среднезернистых и меланократовых щелочных сиенитах.

Главная масса ниобия в породах сконцентрирована в сфене, биотите и ильмените и редко в единственном ниобиевом минерале — бетафите. Рассеянный ниобий установлен в ильмените (0,1—0,3%), сфене (0,3%), цирконе (0,01—0,03%), циртолите (0,1%), ортите (0,01%), бадделеите (0,03%), биотите (0,01—0,03%), анатазе (0,3—1,0%) и редко в турмалине и титаномagnetите (0,01%).

Тантал почти целиком вместе с ниобием рассеивается в титановых минералах и бетафите (0,1%), в сфене (0,01%), анатазе (0,03%).

Цирконий и гафний. Цирконий отмечается во всех разностях сиенитов, однако лейкократовые щелочные сиениты более богаты им ($2,5 \cdot 10^{-2}$ %), чем среднезернистые сиениты ($1,5 \cdot 10^{-2}$ %). Сравнение с кларком изверженных пород ($1,7 \cdot 10^{-2}$ % по А. П. Виноградову) показывает, что лейкократовые сиениты в 1,5 раза обогащены цирконием. Меланократовые сиениты бедны цирконием.

Геохимически тесно связанный с цирконием, гафний содержится в щелочных сиенитах в количествах ($2,9 \cdot 10^{-4}$ %), близких к кларковым ($3 \cdot 10^{-4}$ % по А. П. Виноградову). Отношение $\text{Zr} : \text{Hf}$ в щелочных сиенитах очень высокое—86. Это связано с более низкой подвижностью гафния по сравнению с цирконием в резко щелочных условиях [7]. Содержание гафния в розовых цирконах, по данным рентгено-спектральных анализов, составляет 0,49%, в бадделеите—0,3%, в сфене—0,01%, в бетафите—0,01%. Спектральными анализами цирконий установлен в следующих минералах: эгирин-авгите (0,10%), феррогастингсита (0,1%), биотите (0,03%), бетафите (0,1%), ортите, сфене (0,01%). Однако следует отметить, что 90% циркония в щелочных сиенитах представлено циркониевыми минералами: цирконом, циртолитом, а в нефелиновых монцонитах и альбититах, кроме того, и бадделеитом.

Редкие земли. Редкие земли в щелочных породах района содержатся в повышенных количествах. По данным химических анализов (аналитик Н. А. Элизаян), содержание $\Sigma \text{TR}_2\text{O}_3$ в средней пробе

щелочных сиенитов составляет 0,091%, что в шесть раз выше кларка в изверженных породах (0,015% $\Sigma \text{TR}_2\text{O}_3$ по А. П. Виноградову). Максимальные концентрации редкие земли образуют в альбитизированных разностях сиенитов (0,10—0,12%).

Редкие земли частично рассеиваются в кристаллических решетках кальциевых минералов, но в основном образуют самостоятельные минералы: ортит и монацит. Химическими анализами (И. С. Разина, Е. М. Казакова, ИМГРЭ АН СССР) высокие содержания $\Sigma \text{TR}_2\text{O}_3$ обнаружены в апатите (2,40%), сфене (1,65%), цирконе (0,30%), ортите (21,0%) и монаците (62,3%). Учитывая содержание в щелочных сиенитах минералов, содержащих редкие земли, последние распределяются следующим образом: на апатит—23%, сфен—20%, циркон—2%, ортит—15% и монацит—35%; остальные 5% приходятся на биотит (0,001%), калишпат (0,003%), бетафит (3,0%), флюорит (0,03—0,1%) и др. Как показывают рентгеноспектральные анализы апатита, сфена и ортита, около 85—95% от $\Sigma \text{TR}_2\text{O}_3$ приходится на лантаноиды цериевой и неодимовой групп, лишь в цирконах, торите, циртолите концентрируются редкие земли иттриевой группы (20% от $\Sigma \text{TR}_2\text{O}_3$). Таким образом, основными носителями редких земель (в основном цериевой группы) в сиенитах являются монацит, сфен и апатит.

Иттрий. Среднее содержание иттрия в лейкократовых щелочных сиенитах района равно $3 \cdot 10^{-3}$ %, что несколько выше кларка в изверженных породах ($2 \cdot 10^{-3}$ % по А. П. Виноградову); в среднезернистых сиенитах и нефелиновых монцонитах — $2 \cdot 10^{-3}$ %. Некоторая обогащенность щелочных сиенитов района иттрием является одной из его характерных геохимических черт. Особенно четко это проявляется в пегматитовой фации (в группе калиевых пегматитов), где иттрия содержится 0,02%. Здесь встречаются ксенотим, иттриалит, малакон и иттрийсодержащие танталониобаты. По данным рентгеноспектральных анализов, иттрий установлен в апатитах (0,1%), сфене (2,5%), цирконе (1,0%), ортите (0,16%) и монаците (2,5%). Основная масса (75—80%) иттрия пород сосредоточена в сфене и флюорите (0,3—1,0%). Спектральным анализом иттрий обнаружен в биотите (0,001%), калишпате (0,003%), бетафите (>1,0%), циртолите (3—5%), бадделците (0,01%) и торите (0,3—1,0%).

Торий. Среднее содержание тория в щелочных сиенитах, по данным химических анализов (аналитики Д. В. Акопян и Д. А. Казарян), составляет $2,5 \cdot 10^{-3}$ %, а в альбитизированных участках — $3 \cdot 10^{-3}$ %, что вдвое превышает кларк тория в изверженных породах.

В главной своей массе (75%) торий концентрируется в редкоземельных минералах, изоморфно замещая лантан, церий и отчасти кальций. По данным химических анализов (табл. 4), содержание ThO_2 в минералах следующее: в апатите—0,06%, сфене—0,18%, цирконе—0,07%, ортите—1,28%, монаците—5,26%. Кроме того, спектральным анализом торий установлен в циртолите (0,3—1,0%), бетафите (1—3%), флюорите (0,1—0,3%). Определения содержания ThO_2 в поро-

образующих минералах (калишпат—0,003%, нефелин—0,005%, плагиоклаз—0,002%, биотит—0,006%) показали, что содержание тория, приходящееся на полевошпатовую часть породы (70% массы породы), составляет примерно 60% общего его содержания в породе. Однако следует отметить, что высокое содержание ThO_2 в полевых шпатах, возможно, обусловлено субмикроскопическими включениями торийсодержащих минералов. В альбитизированных участках и в альбититах очень редко встречается торит.

Уран. Среднее содержание урана в щелочных сиенитах— $5,6 \cdot 10^{-4}$ %, что в два раза больше кларка в изверженных породах ($2,6 \cdot 10^{-4}$ % по А. П. Виноградову). Среднезернистые и меланократовые сиениты несколько обеднены ураном ($3 \cdot 10^{-4}$ %). В то же время в некоторых участках лейкократовых сиенитов, особенно в альбитизированных, содержание урана достигает $7-8 \cdot 10^{-4}$ %, т. е. в 1,5—2 раза выше среднего содержания их в гранитоидах плутона. Заметная обогащенность щелочных пород ураном (отношение $\text{Th}:\text{U}=4,5$), вероятно, связана с довольно высоким содержанием K_2O , равным 5—6%, постоянно преобладающим над Na_2O .

Химическими анализами (табл. 5, аналитик С. С. Аكوпова) уран установлен в апатите (0,005%), сфене (0,005%), цирконе (0,04%), ортите (0,012%), монаците (0,62%), калишпате (0,0005%), нефелине (0,0004%), биотите (0,0006%), содалите (0,0003%), ильмените (0,001%), магнетите (0,0006%), циртолите (0,3—1,0%), торите (0,3—1%), флюорите (0,03—0,1%) и анатазе (0,03—0,1%). Минералогические подсчеты показывают, что 60% урана от общего его содержания в породах приурочено к породообразующим минералам, остальная часть урана пород приурочена к сфену, апатиту, монациту, циркону и флюориту.

Однако возможно, что часть урана, приуроченная к полевым шпатам, представлена субмикроскопическими выделениями урансодержащих аксессуарных минералов.

Таблица 9
Средние содержания некоторых редких аксессуарных элементов
в щелочных породах Мегринского района (в г/т)

Элементы	Содержание в г/т	Элементы	Содержание в г/т	Элементы	Содержание в г/т
Литий	50	Галлий	60	Редкие земли . . .	910
Бериллий	10	Титан	2900	Иттрий	30
Рубидий	10	Ниобий	100	Торий	25
Стронций	1500	Цирконий	250	Уран	6
Барий	2500	Гафний	3	Фтор	1200

Медь и молибден. Среднее содержание молибдена, по данным химических анализов (аналитик А. К. Иванян), равно $4,7 \cdot 10^{-4}$ %, а меди— $2,3 \cdot 10^{-3}$ %. При сравнении с кларками этих элементов

(Mo— $1,7 \cdot 10^{-4} \%$; Si— $7 \cdot 10^{-3} \%$) в изверженных породах выясняется, что щелочные сиениты, как и вмещающие их сиенито-диориты и монцониты, почти в 2,5 раза обогащены молибденом и заметно обеднены медью. Среднезернистые и меланократовые разновидности щелочных сиенитов характеризуются заметным накоплением меди ($1 \cdot 10^{-2} \%$).

Главная масса молибдена заключена в биотите, сфене, ильмените и магнетите (0,01—0,03%). Кроме того, очень редко устанавливается акцессорный молибденит. Основная масса меди сконцентрирована в железо-магнелиевых силикатах (0,01—0,03%).

Свинец и цинк. Оба элемента мало характерны для щелочных пород района и обнаруживаются в количестве ниже кларкового. Свинец (обычно радиогенный) присутствует во всех уран-торийсодержащих минералах (0,001—0,03%). Цинк в основном приурочен к железо-магнелиевым минералам (0,01—0,03%).

Фтор. По данным химических анализов, среднее содержание фтора в щелочных сиенитах—0,12%, что почти вдвое выше кларка в изверженных породах ($6,6 \cdot 10^{-2} \%$ по А. П. Виноградову). Около 65% фтора породы сосредоточено в акцессорном флюорите, остальная часть связана с фторапатитом.

Фосфор. Является довольно распространенным элементом. Среднее содержание в породах P_2O_5 , по данным химических определений, равно 0,36%, что значительно превышает кларк фосфора в изверженных породах.

Фосфор в породах в основном связан с апатитом, содержание которого в породах 0,64%, и отчасти с монацитом.

Бор. Среднее содержание B_2O_3 в щелочных сиенитах по данным количественных спектральных анализов составляет $2,0 \cdot 10^{-3} \%$, что в 1,5 раза выше кларка в изверженных породах ($1,3 \cdot 10^{-3} \%$ по А. П. Виноградову).

Особенностью геохимии бора является его тесная связь с кислыми гранитными магмами и полное отсутствие в щелочных нефелиновых сиенитах. Однако характерной особенностью щелочных сиенитов Мегринского района и связанных с ними пегматитов является широкое распространение турмалина. Причем следует отметить, что породы первой фазы, в отличие от гранитоидов поздних фаз, также заметно обогащены бором, что является результатом ассимиляционного обогащения [8]. Это обстоятельство также подтверждает генетическое родство щелочных пород района с монцонитами и сиенито-диоритами первой фазы.

Некоторые генетические особенности и общие выводы

Проведенные минералого-геохимические исследования щелочных пород Мегринского плутона позволили выявить целый ряд закономерностей, проливающих свет на некоторые вопросы их генезиса.

1. Увеличение железистости и щелочности фемических минералов и образование мелких выделений самостоятельных щелочных минералов

лов (эгирина-авгита, эгирина, феррогастингсита и железистого биотита), а также интенсивная альбитизация полевых шпатов и выделение альбита происходит на поздних (автометасоматических) стадиях формирования пород. Это бесспорно свидетельствует о прогрессирующем возрастании концентрации натрия в ходе формирования щелочных пород, достигающем максимума в автометасоматическую стадию.

2. Среди акцессорных минералов выделяются три парагенетических ассоциации минералов, возникновение которых связано с различными этапами формирования пород: а) для средне-мелкозернистых сиенитов характерны магнетит, титаномагнетит, ильменит, апатит—I, сфен—I, циркон—I и ортит; б) в лейкократовых пегматоидных щелочных сиенитах, кроме того, появляются: апатит—II, сфен—II, циркон—II, бадделит, монацит, бетафит, циртолит, тортит; в) в отдельных участках лейкократовых сиенитов — молибденит, халькопирит, пирит, флюорит, эпидот, турмалин, анатаз, лейкоксен и гематит. Ранняя парагенетическая ассоциация акцессориев характеризует магматический этап формирования щелочных сиенитов и во многих чертах сходна с образованием сиенито-диоритов и монцонитов.

Промежуточная ассоциация акцессориев возникает в ранней метасоматической стадии преобразования пород в связи с интенсивными процессами эгиринизации, амфиболизации, биотитизации, нефелинизации и особенно альбитизации. Поздняя парагенетическая ассоциация образуется в условиях сравнительно низких температур и имеет небольшое развитие. Наиболее интенсивно проявлены процессы апатитизации, флюоритизации и мусковитизации (либнеритизации), слабее проявлены содалитизация, канкринитизация, цеолитизация и карбонатизация.

3. Таким образом, при протекании указанных процессов и наложении поздних менее высокотемпературных автометасоматических стадий на более ранние высокотемпературные происходит изменение состава ранних минералов или их полное или частичное разрушение с образованием новых минералов и их парагенетических ассоциаций.

4. Для щелочных пород Мегринского района характерно повышенное, по сравнению с кларками в изверженных породах, содержание типичных для щелочных пород ассоциаций элементов: F, Be, Sr, Ba, Ga, Nb, Zr, TR и Th и пониженное содержание Li, Rb, Sc, Sn, Cu, Pb, Zn и Ti (табл. 9).

5. Характерной особенностью щелочных пород района является высокое содержание «летучих» компонентов: F, P и B.

6. Повышенное по сравнению с кларками в щелочных породах содержание элементов (Y, U, Mo и V), присущих для кислых гранитоидных пород, является характерной особенностью щелочных пород Мегринского плутона и указывает на генетическое родство их с гибридными гранитоидными породами первой фазы, имеющих аналогичные геохимические особенности.

7. Максимальные количества Ba, Be, Ga, Sr, Nb, Zr, TR, Y, Th и U связаны с лейкократовыми пегматоидными щелочными сиенитами, а высо-

кие содержания Ti, Li, Cu и Zn — с мезо-меланократовыми сиенитами и нефелиновыми монцонитами.

8. Малые петрогенные элементы (Li, Rb, Cs, Sr, Ba и Be) и Ga связаны в основном с нефелином, содалитом, полевыми шпатами и другими породообразующими минералами. Главная же масса (75—90%) редких и рассеянных элементов (Nb, Zr, TR, Y и Th) сконцентрирована в акцессорных минералах (сфене, бетафите, апатите, цирконе, торите и др.), максимальные количества которых приурочены к участкам интенсивной альбитизации и флюоритизации (в основном это эндоконтакты лейкократовых сиенитов и метасоматические альбититы) и отчасти к экзоконтактовой зоне амфиболитизации.

9. Проведенные исследования показали, что между сиенито-диоритами и монцонитами первой фазы, с одной стороны, и щелочными породами, с другой, намечаются прямые черты геохимической преемственности. В отличие от мнений ранних исследователей (М. А. Литвин, 1947), относящих щелочные породы к наиболее поздней (четвертой) фазе плутона, мы склоняемся к мысли о генетической связи щелочных пород с монцонитами и сиенито-диоритами первой интрузивной фазы. Этого мнения придерживаются и другие исследователи района (А. И. Адамян и С. С. Мкртчян).

Это положение в некоторой степени подтверждается и результатами определения абсолютного возраста этих пород. Для биотитов из монцонитов и сиенито-диоритов (два определения) получены 30—36 млн. лет, а слюды из пегматитов щелочных пород (два определения) дали даже несколько более высокие цифры—45 млн. лет, что соответствует по шкале Марбла верхнему эоцену — олигоцену.

Все эти особенности указывают на образование щелочных пород (фаций и субфазы) в генетической связи с монцонитами и сиенито-диоритами, как результат процессов ассимиляции (известняков и порфири-тов) и дифференциации с образованием в различных частях гибридной «монцонитовой» магмы участков, обогащенных щелочами и летучими (эманационная дифференциация — газовый перенос). Причем последовательное проявление указанных выше позднемагматических процессов с участием летучих и щелочей (главным образом Na — метасоматоз) приводит не только к изменению состава породообразующих минералов (повышение железистости и щелочности) и появлению новых щелочных минералов (эгирина, феррогастингсита, биотита, нефелина, альбита и др.), в том числе и редкометалльных акцессорных минералов (торит, бетафит, бадделеит, монацит и др.), но и к формированию окончательного облика щелочных пород (пегматоидные сиениты). В краевых зонах как результат процессов сиенитизации пород монцонитового и сиенит-диоритового составов образуются средне-мелкозернистые сиениты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адамян А. И. Петрография щелочных пород Мегринского района АрмССР. Изд. АН АрмССР, Ереван, 1955.
2. Арапов Ю. А. и Зорабян В. С. О нефелиновых и щелочных сиенитах восточной части Мегринского района. «Изв. Арм. ФАН СССР», № 8, 1942.

3. Беус А. А. Геохимия бериллия. «Геохимия», № 5, 1955.
4. Бутакова Е. Л. О роли метасоматоза в образовании щелочных пород. Мин. сб. Львов. геол. о-ва, 1959.
5. Виноградов А. П. Распределение химических элементов в земной коре. «Геохимия», № 1, 1956.
6. Власов, К. А., Кузьменко М. В. и Еськова Е. М. Ловозерский щелочной массив. Изд. АН СССР, 1959.
7. Вайнштейн Э. Е. и Тугаринов А. И. Закономерности распределения редких земель, циркония и гафния в изверженных породах. Сб. «Геохимия редких элементов в связи с проблемой петрогенезиса». Изд. АН СССР, 1956.
8. Меликсетян Б. М. Акцессорные минералы в породах Мегринского плутона. «Изв. АН Арм. ССР», № 2, 1960.
9. Мкртчян С. С. Зангезурская рудоносная область. Изд. АН АрмССР, Ереван, 1958.
10. Соболев В. С. Значение железистости феррических минералов и вспомогательные диаграммы для определения состава биотитов, роговых обманок и ромбических пироксенов. Мин. сб. Львов. геол. о-ва, № 4, 1950.