

А. И. БОГАЧЕВ

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕЗИСА НЕФЕЛИНОВЫХ СИЕНИТОВ ЕЛЕТОЗЕРСКОГО МАССИВА И ИХ ПЕГМАТИТОВ (СЕВЕРНАЯ КАРЕЛИЯ)

Елетозерский массив относится к той группе массивов Кольского п-ова и Карелии, в строении которых наряду с основными и ультраосновными породами принимают участие щелочные нефелинсодержащие породы. При изучении этого массива в течение последних лет получены новые данные, которые позволяют осветить некоторые вопросы генезиса нефелинсодержащих щелочных пород массива.

Елетозерский массив является сложной многофазовой интрузией центрального типа, сформировавшейся в пять интрузивных фаз: I фаза — габброидные породы; II фаза — дайки спессартитов и диабазов; III фаза — щелочные и нефелиновые сиениты и их пегматиты; IV фаза — гранодиориты, плагиомикроклиновые граниты и их пегматиты; V фаза — дайки диабазов, плагиоклазовых и диабазовых порфиритов.

Габброидные и щелочные породы массива, находящегося в поле распространения гнейсов и гнейсо-гранитов архейского возраста, образуют тело эллипсоидальной формы, окруженное более молодыми гранитами. Щелочные и нефелиновые сиениты III фазы расположены в центре массива на площади около 20 км² и отделены от гранитных пород массива кольцом габброидных пород. Кроме основного тела щелочных и нефелиновых сиенитов, имеется несколько сателлитных тел, которые обладают интрузивными контактами с габброидными породами и содержат ксенолиты пород I и II интрузивных фаз массива. Габброидные породы I фазы секутся дайками диабазов и спессартитов, которые в свою очередь секутся жилами щелочных пегматитов, сиенитпорфиров и бостонитов.

Для пород I фазы Елетозерского массива устанавливается следующая последовательность образования: мелкозернистое габбро краевых частей массива, крупнозернистое габбро, плагиоклазиты, среднезернистое оливиновое полосчатое габбро, рудные перидотиты и амфиболиты, ортоклазсодержащие габбро (эссекситы и монцониты).

Жилы щелочных пегматитов, генетически связанные с нефелиновыми сиенитами, возникли в результате длительного многоступенчатого процесса. Это находит свое выражение в разнообразии их минералогического состава, внутреннего строения и характера контактов с вмещающими породами I интрузивной фазы. Из особенностей минералогического состава щелочных пегматитов следует отметить значительную изменчивость в содержании отдельных минералов. В отличие от нефелиновых сиенитов часть щелочных пегматитов содержит повышенное количество эпидота (до 20—30%). В большей части щелочных пегматитов нефелин



Фиг. 1. Жила щелочного пегматита в габбро. Виден интрузивный характер контактов.

отсутствует. Жилы щелочных пегматитов в контактах с вмещающими габброидными породами не оказывают существенного контактового воздействия на эти породы. На фиг. 1 видно, что в теле пегматита содержатся ксенолиты вмещающих габброидных пород и что от основного тела жилы отходят секущие прожилки во вмещающие породы. В полосчатых разностях габбро нередко можно наблюдать явно секущие контакты жил щелочных пегматитов. В этих случаях полосы габбровых пород без изменения направления подходят к плоскости контакта. По направлению директивных текстур последние прослеживаются на противоположной стороне жилы, но не при их непосредственном продолжении, а с некоторым смещением, иногда довольно значительным. Очень часто экзоконтакты жил щелочных пегматитов тектонические. В контакте вмещающие габбро подвергаются рассланцеванию. Первичная полосчатость у контакта принимает форму флексурного изгиба (фиг. 2). В самих же жилах рассланцевания не наблюдается.

Из особенностей внутреннего строения жил щелочных пегматитов следует отметить то, что большая часть этих жил содержит многочисленные ксенолиты спессартитов, подверженные интенсивному изменению. Внутри этих ксенолитов развиваются крупные порфировидные включения щелочного полевого шпата (пертиты и антипертиты) размером до 10—15 см. По мере увеличения количества таких вкрапленников они постепенно «съедают» ксенолиты спессартитов, и от последних остаются только небольшие резорбированные остатки. Иногда на наличие ксенолитов указывают только темные расплывчатые пятна в теле пегматита. Различные стадии этого процесса видны на фиг. 3.

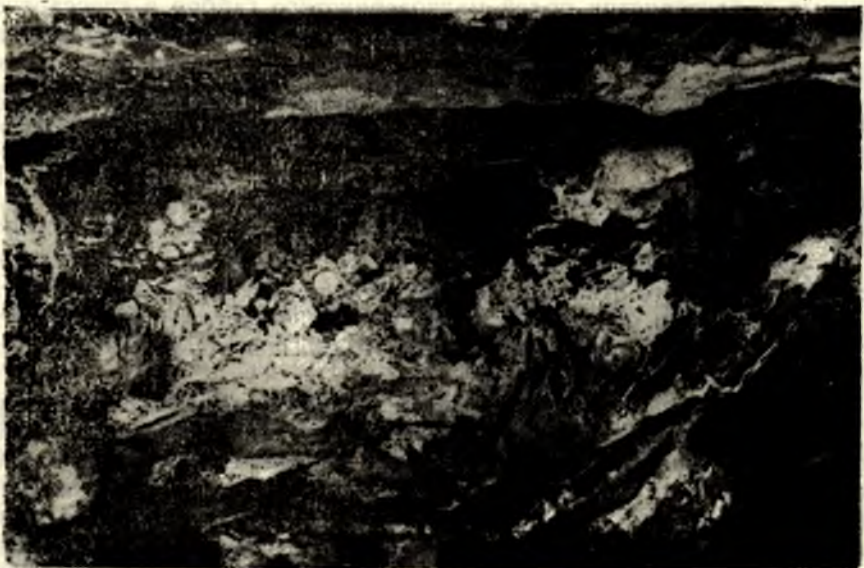
Изучение химического состава пород отдельных фаз массива позволяет определить основные направления эволюции состава магмы в процессе формирования Елетозерского массива. На диаграмме химических

¹ Диаграмма опубликована раньше. См. статью автора «К вопросу пересчета химических анализов рудных титансодержащих пород основного состава по методу А. Н. Заварицкого» («Известия Карельского и Кольского филиалов АН СССР», 1958, № 4, стр. 16—19).



Фиг. 2. Контакт жилы щелочного пегматита с габбро. В контакте первичная полосчатость в габбро принимает форму фленсурного изгиба.

составов пород Елетозерского массива, пересчитанных по методу А. Н. Заварицкого с учетом перевода TiO_2 в «В», довольно четко видна последовательность в смене групп пород, совпадающая с геологически и петрографически установленным направлением дифференциации I интрузивной фазы массива, для которой устанавливается следующая эволюция химического состава магмы. Химический состав наиболее ранних пород краевой фации массива, представленной мелкозернистыми габбро, отвечает составу платобазальта. Средние члены, представленные оливиновыми габбро, ближе всего соответствуют составу оливинового



Фиг. 3. Жила щелочного пегматита в габбро с резорбированными в различной степени ксенолитами спессартитов.

диабазы и, наконец, силикатная часть рудных перидотитов — океаниту. В табл. 1 сведены числовые характеристики перечисленных пород по А. Н. Заварицкому.

Для рудных ультраосновных пород (рудных перидотитов и амфиболитов) величина Q значительно ниже, чем в пробе 012, и колеблется от —30 до —35.

Таблица 1

Породы	a	c	b	s	f'	m'	c'	n	φ	t	Q
Мелкозернистое габбро (проба 7)	5,5	7,3	30,8	56,4	39,6	35,6	24,8	82,5	13,1	1,7	— 5,5
Платобазальт, по Р. Дели	6,84	6,14	30,08	56,94	42,7	38,7	18,6	85,7	16,7	0,4	—5,94
Оливиновое габбро (проба 24)	6,1	6,7	32,9	51,5	55,8	24,7	10,5	79,2	34,0	3,8	—13,1
Оливиновый диабаз, по Р. Дели	7,5	6,4	30,0	56,1	37,4	45,8	16,9	80,0	86,0	2,0	— 9,2
Рудный перидотит (силикатная часть) (проба 012)	3,8	3,7	46,10	46,5	30,7	42,1	27,2	—	30,7%	—	—18,4
Океанит	3,6	4,0	46,7	45,7	23,5	66,7	9,8	80,0	4,8	3,4	—19,8

Пересчет химических анализов рудных ультраосновных пород по системе СУРВ показывает наличие нефелина в нормативном составе этих пород (табл. 2).

Геологическая позиция даек спессартитов и диабазов позволяет считать, что их химический состав характеризует состав магмы на глубине после формирования пород I интрузивной фазы. Исходные проекции числовых характеристик полей мелкозернистого габбро и спессартитов, составы которых отражают основные этапы эволюции магмы, лежат на одном уровне по оси «В». Отличие заключается в увеличении величины «а» и уменьшении параметра «с» у спессартитов по сравнению с мелкозернистым габбро. Величины Q для этих двух пород резко различны при примерно одинаковых величинах S' . Для мелкозернистого габбро (проба 7) $S = 56,4$ и $Q = -5,5$, а для спессартита (проба 28) $S = 51,7$ и $Q = -21,0$. Пересчет химического анализа спессартита (проба 28) по системе СУРВ показал также наличие нормативного нефелина (табл. 3).

По своим числовым характеристикам спессартиты Елетозерского массива ближе всего отвечают составу кампто-спессартитов (табл. 4).

Таким образом, некоторые основные особенности эволюции состава магмы Елетозерского массива до образования щелочных и нефелиновых сиенитов сводятся к следующему:

1. Наиболее ранние породы массива (мелкозернистые габбро краевой фации) по своему химизму соответствуют платобазальтам. В ходе дальнейшей дифференциации образуются породы, отвечающие по составу оливиновому дибазу и океаниту. Таким образом, состав первых порций магмы Елетозерского массива отвечает толентовому типу магм, а дальнейшее направление дифференциации — типу оливинового базальта. Это объясняется тем, «что магма континентальных платобазальтов может быть получена из магмы океанических базальтов путем контаминации сиалической корой континентов» (А. Н. Заварицкий, 1941).

Таблица 2

Окислы	Вес. %		Проба 06		Проба 22	
	проба 22	проба 0,6	модальный состав (в объемных %)	нормативный состав	модальный состав (в объемных %)	нормативный состав
SiO ₂	38,41	24,60	апатит 4	апатит 0,67	апатит 0,5	апатит 2,02
TiO ₂	10,60	13,40	ильменит 24	ильменит 25,59	ильменит и титаномагнетит 20	ильменит 20 магнетит 2,08
Al ₂ O ₃	10,52	16,25	титаномагнетит 6,5	магнетит 4,86	роговая обманка 55	ортоклаз 7,24
Fe ₂ O ₃	3,07	13,21	плагио-клаз 12	гематит 9,9	пироксен 8	альбинит 4,72
FeO	10,22	13,58	роговая обманка 34,0	лейцит 1,75	скаполит 5	нефелин 5,11
MnO	0,18	0,47	пироксен 16,5	нефелин 6,82	биотит 3	анортит 17,52
MgO	7,35	6,56	сульфиды 1,0	анортит 36,72	хлорит 8	диопсид 34,88
CaO	13,53	9,48	биотит и серпентин 1,0	кальций-силикат 2,58		(Wo—18,47, en—14,56, fs—1,85)
Na ₂ O	1,72	1,46		оливин 12,35		
K ₂ O	1,18	0,44		(fo—8,29, fa—3,06)		оливин 2,94
P ₂ O ₅	0,96	0,34				(fo—2,53, fa—0,41)
V ₂ O ₅	0,09	0,087				
F	0,24					
SO ₃	0,06	0,34				
H ₂ O	0,07					
п. п. п.	0,22					
Сумма	99,60	100,22				

Примечание. Проба 22—рудный амфиболит. Участок Северная Сууриваара. Центральная химическая лаборатория СЗГУ. Проба 06 (технологическая)—рудный амфиболит. Участок Северная Сууриваара. Институт „Механобр.“

2. Последние дифференциаты I интрузивной фазы массива, представленные рудными гипербазитами, характеризуются резкой недосыщенностью SiO₂, что в условиях относительно повышенного содержания щелочей в некоторых разновидностях этих пород обуславливает наличие нефелина в их нормативном минералогическом составе.

3. Особенности химического состава даек спессартитов и диабазов указывают, что дифференциация магмы Елетозерского массива типа оливинового диабаза в течение периода, отвечающего формированию габброидных пород массива, привела ее к составу, который характеризуется резкой недосыщенностью SiO₂ и заметным увеличением количества щелочей. Такое соотношение между SiO₂ и щелочами создает потенциальную возможность появления нефелинсодержащих пород. Дальнейшее эволюционное развитие такой магмы приводит к образованию щелочных и нефелиновых сиенитов.

Нефелиновые сиениты Елетозерского массива относятся к нефелиновым сиенитам миаскитового типа. В табл. 5 приведен полный

Таблица 3

Пересчет химического анализа спессартита

Окислы	Проба 28	Модальный состав (%)	Нормативный состав (%)
SiO ₂	41,76	апатит 2	апатит 2,77
TiO ₂	2,54	ильменит и титано-магнетит 5	ильменит 4,86 магнетит 7,87
Al ₂ O ₃	15,23	альбит 10	ортоклаз 8,90
Fe ₂ O ₃	5,41	роговая обманка 62	альбит 10,49
FeO	10,63	биотит 5	нефелин 7,95
MnO	0,34	сфен 8	анортит 23,69
MgO	5,25	эпидот 8	диопсид 22,23
CaO	11,46		(Wo—11,27, en—82, fs—5,14)
Na ₂ O	3,02		
K ₂ O	1,48		оливин 9,96
п. п. п.	1,87		(fo—5,07, fa—4,89)
P ₂ O ₅	0,91		
Сумма	99,91		

силикатный анализ нефелинового сиенита этого массива и дано сравнение числовых характеристик последнего с миаскитом.

Коэффициент агапайности $\frac{(Na_2O + K_2O)}{Al_2O_3}$ нефелиновых сиенитов Елетозерского массива равен $\frac{6,99 + 8,39}{21,32} = 0,72$, что также соответствует нефелиновым сиенитам миаскитового типа (В. И. Герасимовский, 1956).

Химические составы щелочных пегматитов Елетозерского массива отличаются большим своеобразием (табл. 6, 7).

Числовые характеристики альбитита (проба 30) ближе всего отвечают гельсинкиту, а числовые характеристики проб 14 и 31 находятся между группой диорита и сиенита, несколько ближе к диориту. От щелочных и нефелиновых сиенитов щелочные пегматиты отличает резкое повышение величины Q, увеличение параметров «с» и «b» и довольно резкое уменьшение величины параметра «а». На фиг. 4 видно, что поле щелочных пегматитов находится между полями спессартитов и диабазов, с одной стороны, и нефелиновых сиенитов, с другой, несколько ближе к полю последних. Суммируя особенности геологического строения и химизма щелочных пегматитов, можно прийти к выводу, что последние являются гибридными породами. На определенной стадии становления щелочных пегматитов имели место процессы метасоматического замещения.

Таблица 4

Числовые характеристики спессартита

	a	c	b	s	f'	m'	c'	n	f	t	Q
Спессартит (проба 28)	9,1	6,0	33,3	51,7	47,0	27,6	25,3	75,0	14,5	4,4	-21,0
Кампто-спессартит	8,5	5,7	33,8	52,0	48,0	32,2	19,8	90,2	15,5	5,8	-18,7

Таблица 5

Химический анализ нефелинового сиенита

Нефелиновый сиенит	Проба 29		a	c	b	s	f'	m'	c'	n	φ	t	Q
SiO ₂	55,45	Нефелиновый сиенит	28,1	0,5	5,0	65,8	78,9	7,1	14,1	55,9	25,3	0,5	-26,2
TiO ₂	0,37	Миаскит	27,6	0,4	4,8	67,2	73,0	18,0	9,0	56,0	—	—	-21,2
Al ₂ O ₃	21,32												
Fe ₂ O ₃	1,54												
FeO	2,68												
MnO	0,06												
MgO	0,18												
CaO	0,95												
Na ₂ O	6,99												
K ₂ O	8,32												
H ₂ O	0,15												
п.п.п.	1,98												
P ₂ O ₅	0,06												
Сумма	100,12												

Примечание. Анализ проведен Н. Д. Мальковой в химико-аналитической лаборатории Карельского филиала АН СССР.

Таблица 6

Химические анализы щелочных пегматитов Елетозерского массива

Окислы	Проба 14	Проба 30	Проба 31
SiO ₂	54,40	54,09	55,63
TiO ₂	0,77	следы	следы
Al ₂ O ₃	22,92	21,17	22,19
Fe ₂ O ₃	2,45	5,18	3,63
FeO	2,98	0,54	0,39
MnO	0,07	0,05	0,05
MgO	2,39	0,29	0,09
CaO	7,71	10,62	9,76
Na ₂ O	1,40	6,00	4,19
K ₂ O	4,35	0,29	3,06
H ₂ O	0,17	0,15	0,09
п.п.п.	0,34	1,52	1,03
V ₂ O ₅	0,02	0,06	0,11
Сумма	99,97	100,33	100,22

Примечание. Проба 14 — щелочной пегматит. Участок Сууриваара. Центральная химическая лаборатория СЗГУ. Проба 30 — альбитит. Проба 31 — щелочной пегматит. Проба 30 и 31 (участок Нятоваара) проанализированы аналитиком В. А. Доильницной в химико-аналитической лаборатории Карельского филиала АН СССР.

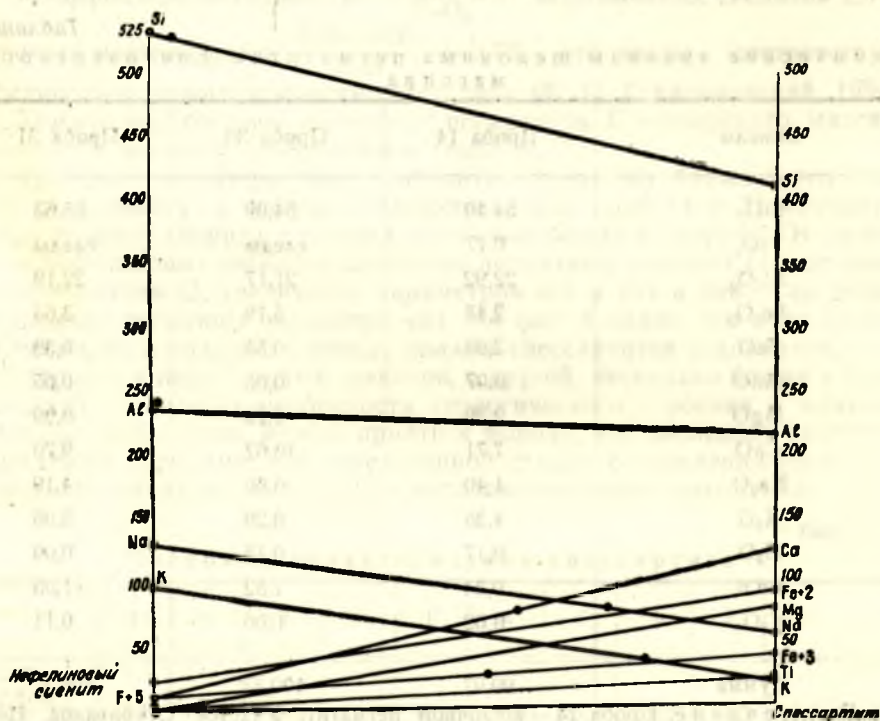
Таблица 7

Числовые характеристики щелочных пегматитов
Елетозерского массива
(по А. Н. Заварицкому)

№ пробы	a	c	b	s	Q'	f'	m'	c'	n	φ	t	Q
14	10,2	10,1	12,4	67,4	22,6	42,3	35,2	—	33,3	17,9	0,9	+4,2
30	14,5	7,8	11,6	65,9	—	45,6	3,7	50,6	97,0	41,3	—	-5,0
31	14,7	8,6	8,2	68,3	—	46,4	2,7	50,9	67,3	41,1	—	1,9

Для выяснения некоторых особенностей этого процесса химические анализы нефелинового сиенита, спессартита и щелочного пегматита пересчитаны по методу Барта.

Сушность метода петрохимического пересчета Т. Барта заключается в следующем. В большинстве пород кислород занимает до 94% объема. Объем остальных катионов, взятых вместе (кремний и металлы), составляет менее 6%. Горные породы при метасоматических и метаморфических процессах сохраняют постоянный объем. При этих процессах количество ионов кислорода в данной единице объема не изменяется. Для сравнения равнообъемных единиц породы нужно сравнивать единицы, состоящие из одинакового числа ионов кислорода. В качестве стандарта для этого принимается 160 ионов кислорода как некоторая средняя величина, соответствующая 100 ионам электроположительных элементов, входящих



Фиг. 4. Диаграмма атомных количеств спессартита, нефелинового сиенита и щелочного пегматита, вычисленных по методу стандартной ячейки Т. Барта

в состав горной породы. Для удобства вычисления, по предложению С. Д. Четверикова (1956), выгоднее принимать за объем «стандартной ячейки» объем, занимаемый не 160, а 1600 ионами кислорода. Это позволит сравнивать не дробные, а целые числа ионов между собой. При таком методе пересчета состав породы может быть выражен в виде своеобразной «формулы», составленной из ионов с соответствующими коэффициентами.

Результаты этих пересчетов даны в табл. 8.

Таблица 8

Наименование породы	Формула по Т. Барту
Нефелиновый сиенит (проба 29)	$K_{96}Na_{130}Ca_{10}Mg_3Fe_{22}Fe_{11}Al_{239}Ti_3Si_{529}P_1[O_{1590}(OH)_{10}]$
Щелочной пегматит (проба 31)	$K_3Na_{74}Ca_{72}Mg_3Fe_3Fe_{25}Al_{240}Si_{325}P_1[O_{1504}(OH)_6]$
Спессартит (проба 28)	$K_{18}Na_{56}Ca_{121}Mg_{17}Fe_{91}Fe_{40}Al_{216}Ti_{19}Si_{412}P_7[O_{1584}(OH)_8]$

Полученные результаты представлены графически (фиг. 4). Длина оси абсцисс взята произвольно. По оси ординат справа в масштабе отложены количества атомов различных элементов в стандартной ячейке для спессартита, слева — для нефелинового сиенита. Удвоенными линиями соединены те элементы, количество которых возрастает от спессартитов к нефелиновым сиенитам, ординарными линиями — те элементы, количество которых убывает. Черными кружочками на соответствующих линиях нанесены атомные количества элементов щелочного пегматита. Из этой диаграммы видно, что:

1. Количество атомов Si, Na, K возрастает от спессартитов к нефелиновым сиенитам. Причем, судя по углу наклона линий, количество Si возрастает несколько интенсивнее, чем Na и K.

2. Количество атомов Ca, Fe⁺², Fe⁺³, Ti⁺⁴ убывает от спессартита к нефелиновым сиенитам.

По степени интенсивности этого процесса данные элементы можно расположить в следующий ряд: Ca⁺², Fe⁺², Fe⁺³, Ti⁺⁴.

3. Количество атомов Al остается почти постоянным.

Наиболее интересен тот факт, что при эволюции магматического расплава, приводящего к образованию нефелиновых сиенитов, идет увеличение количества атомов кремния и щелочей. Процесса десиликации нет. Относительное же обеднение Si вызвано резкой недосыщенностью Si в исходной магме. На фоне этой резкой недосыщенности кремнекислотой и возрастания количества щелочей взаимные отношения между абсолютными количествами кремнекислоты и щелочей обуславливают появление нефелина.

Теперь обратимся к щелочным пегматитам.

Здесь также можно выделить две группы элементов. Одна группа расположена на поднимающихся от спессартита к нефелиновому сиениту линиях и вторая, наоборот, на опускающихся линиях. К первой группе относятся те элементы, которые привносятся, ко второй — которые выносятся. Таким образом, при возникновении щелочных пегматитов привносятся Si, Na, K и выносятся Fe⁺³, Fe⁺², Ca, Ti, Mg.

Расположение количества атомов щелочных пегматитов на линиях указывает на степень привноса или выноса. Например, чем ближе какой-

либо элемент на восходящих линиях к стороне нефелинового сиенита, тем значительнее привнос, и, наоборот, аналогичное расположение на нисходящих линиях указывает на более интенсивный вынос. Исходя из этого принципа, привносимые элементы по интенсивности привноса можно расположить в следующий ряд: Si—Na—K и соответственно элементы, которые выносятся: Mg—Ti—Fe⁺²—Fe⁺³—Ca⁺².

Соотношения между Ca, который выносятся из спессартитов, и Na, K и Si, которые привносятся, обуславливают то, что на определенном этапе процесса возникновения щелочных пегматитов возникают породы, почти или полностью насыщенные SiO₂, несмотря на то, что исходные породы — спессартиты и нефелиновые сиениты — резко недосыщены SiO₂.

Некоторые основные особенности генезиса щелочных пород Елетозерского массива можно охарактеризовать следующим образом:

1. Нефелиновые сиениты возникли здесь в процессе эволюции магмы типа оливинового базальта.

2. Появление нефелиновых сиенитов в процессе такой эволюции обусловлено тем, что ход дифференциации предшествующей габброидной фазы магмы типа оливинового базальта привел ее к резкой недосыщенности SiO₂. Дальнейшая дифференциация такой резко недосыщенной SiO₂ магмы в условиях довольно быстрого увеличения щелочей (Na₂O и K₂O) привело к образованию нефелиновых сиенитов.

ЛИТЕРАТУРА

- Барт Т. Теоретическая петрология. М., Изд-во иностр. лит., 1956.
Герасимовский В. И. Геохимия и минералогия нефелино-сиенитовых интрузий. «Геохимия», 1956, № 5.
Заварицкий А. Н. Пересчет химических анализов изверженных горных пород и определение химических типов их. М.-Л., Изд-во АН СССР, 1941.
Заварицкий А. Н. Изверженные горные породы. М., Изд-во АН СССР, 1955.
Четвериков С. Д. Руководство к петрохимическим пересчетам. М., Госгеолтехиздат, 1956.