

И. В. ГИНЗБУРГ

ОБ ИЗМЕНЕНИИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА
ГРАНИТНОЙ МАГМЫ, ВЕДУЩЕМ К ОБРАЗОВАНИЮ
ЛИТИЕВЫХ ПЕГМАТИТОВ

В многочисленной литературе, посвященной вещественному составу гранитных пегматитов, рассматривается главным образом изменение содержания специфических минералов и химических элементов. Характеристике изменения содержания их главных составных частей, а именно кварца, полевых шпатов и остальных минералов, а также преобладающих окислов (или элементов) уделяется пока мало внимания. Вместе с тем известно, что появление новых минеральных парагенезисов находится в зависимости от изменения содержания главных окислов (или элементов). Это показывается ниже на примере гранитных пород и пегматитов северо-запада СССР.

1. В результате обработки количественно-минералогических подсчетов пегматитов в шлифах, штуфах и обнажениях (табл. 1) по способу, предложенному Б. М. Куплетским (1953), представилось возможным сопоставить пегматиты с основными разновидностями гранитоидов.

Микроклиновые, мусковитово-шерловые (мусковитовые) и сподуменовые пегматиты одного из районов северо-запада СССР по соотношению полевых шпатов¹ и их отношению к кварцу и другим минералам (рис. 1) соответствуют тоналитам, плагиогранитам, гранодиоритам, гранитам, аляскитам, реже — кварцевым сенитам и кварцевым диоритам. Из них микроклиновые пегматиты обычно соответствуют гранитам, аляскитам и кварцевым сенитам, т. е. разновидностям гранитоидов, наиболее богатым микроклином. Мусковитовые и мусковитово-шерловые пегматиты отвечают главным образом гранитам и гранодиоритам, т. е. разновидностям гранитоидов, менее насыщенным микроклином. Наконец, сподуменовые пегматиты, по тем же признакам, соответствуют тоналитам (гранодиоритам), т. е. разновидностям гранитоидов, обедненным микроклином или лишенным его.

Учитывая данные о возрастной последовательности пегматитов изученного района, отмечаем, что от ранних — микроклиновых пегматитов к мусковитовым и мусковитово-шерловым и далее к наиболее поздним — сподуменовым пегматитам убывает содержание микроклина (до незначительного в последних из них).

¹ Весь альбит относился к плагиоклазу, а не к плагиоклазу и частично к микроклину, как предложено Б. М. Куплетским.

Примеры минерального состава пегматитов изученного района
(в объеме, %)

Минералы	Пегматиты													
	микроклиновые				мусковитово-щербовые						снодуневые			
Кварц	36,9	37,7	30,0	23,4	38,3	35,7	27,7	31,0	29,7	35,6	43,0	48,9	33,3	24,4
Плагиоклаз	50,5	44,0	29,7	13,3	61,0	28,2	37,0	30,3	20,3	19,5	22,0	40,0	39,7	21,5
Микроклин	10,4	14,6	38,5	62,0	—	—	18,5	20,4	30,5	40,0	7,9	1,5	—	—
Мусковит	0,8	1,7	1,3	0,4	—	35,6	7,5	15,2	15,0	3,5	14,5	6,7	10,2	3,5
Бiotит	—	1,5	0,5	—	—	—	—	—	4,5	—	—	—	—	—
Шеррл	—	—	—	0,6	0,7	—	9,3	3,1	—	1,4	3,9	—	0,5	—
Снодунен	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,5	2,9	15,3	50,6
Ортит	—	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Эпидот	1,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Гранат	—	—	—	0,3	—	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—
Апатит	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,2	—	1,0	—
Сумма	100,0	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Группы гранитоидов* .	II	II	III	IV	I	I	III	III	III	III	II	I	I	I

* Группы гранитоидов, которым соответствуют пегматиты по соотношению щелочных катионов: I — тоналиты, плагиограниты; II — граиодiorиты; III — граниты; IV — аляскиты

Для гранитоидных пород района (табл. 2) тем же способом определено возрастание содержания микроклина от ранних разновидностей к поздним, причем поздние разновидности гранитоидов менее обогащены микроклином, чем ранние разновидности пегматитов.

Таким образом, соотношение полевых шпатов в гранитных породах и пегматитах района обнаруживает следующие изменения (рис. 2). Сначала отмечается закономерное возрастание содержания микроклина от $\frac{Mi}{Pl} = \frac{0}{100} - \frac{10}{90}$ (в ранних разновидностях гранитоидов) к $\frac{Mi}{Pl} = \frac{30}{70} - \frac{60}{40}$ (в поздних разновидностях гранитоидов) и до $\frac{Mi}{Pl} = \frac{80}{20} - \frac{100}{0}$ (в ранних разновидностях пегматитов), а затем происходит уменьшение его содержания до $\frac{Mi}{Pl} = \frac{30}{70} - \frac{60}{40}$ и до $\frac{Mi}{Pl} = \frac{10}{90} - \frac{30}{70}$ (в более поздних разновидностях пегматитов) и даже до $\frac{Mi}{Pl} = \frac{0}{100} - \frac{10}{90}$ (в самых поздних — сподуменовых пегматитах)¹. Из сделанных сопоставлений напрашиваются следующие выводы.

Закономерное возрастание содержания микроклина, характерное для последовательного хода кристаллизации гранитной магмы (вплоть до микроклиновых пегматитов) нарушается при переходе к мусковитовошерловым и затем к сподуменовым пегматитам. Процесс кристаллизации этих пегматитов отличается закономерным понижением содержания микроклина, до полного его исчезновения в соответствующих зонах сподуменовых пегматитов и появления некоторого его количества в стадии автометасоматоза.

Характерной особенностью изученных пегматитов района является незначительное проявление в них контактового взаимодействия. Количественно-минералогический состав пегматитов приконтактных зон обнаруживает две особенности. С одной стороны, они обогащены плагиоклазом, что связано с реакционными контактными процессами, (рис. 1, 5, 8), а с другой стороны, они местами обогащены кварцем, что связано с последующими процессами грейзенизации (рис. 1, 4).

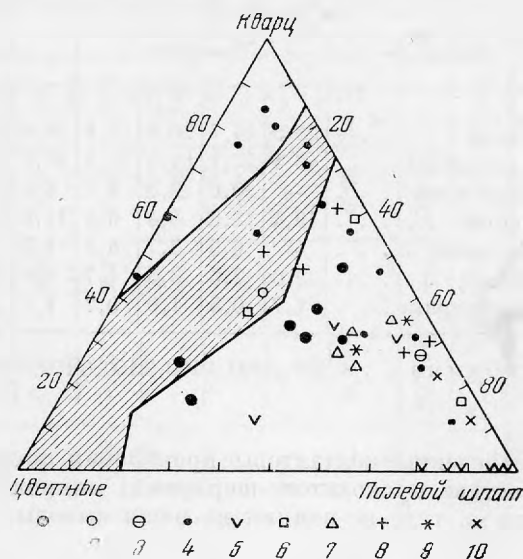


Рис. 1. Сводная диаграмма минерального состава пегматитов (на основе диаграмм Б. М. Куплетского, 1953), показывающая соответствие пегматитов разновидностям гранитных пород.

Сподуменовые пегматиты: 1 — тоналиты, плагиограниты; 2 — граниты; 3 — аляскиты (сподуменовые зоны); 4 — тоналиты, плагиограниты (аплитовидные зоны) и мусковитовые сланцы (сланцевые зоны); 5 — диориты и отчасти гранодиориты (зоны непосредственных контактов); мусковит-турмалиновые пегматиты: 6 — плагиограниты, тоналиты; 7 — граниты (внутренние зоны); микроклиновые пегматиты: 8 — гранодиориты, часть граниты (краевые зоны); 9 — граниты; 10 — аляскиты и кварцевые слениты (внутренние зоны)

¹ Только в некоторых образованиях стадии замещения обнаруживается местное развитие микроклина.

Таблица 2

Примеры минерального состава гранитоидных пород изученного района
(в объемн. %)

Минералы	Тоналиты				Гранодиориты				Граниты			
Кварц	28,5	24,7	20,6	25,9	33,9	36,2	32,4	36,9	30,8	34,3	27,2	21,4
Плагиоклаз	48,4	52,1	61,3	55,8	42,7	44,6	43,3	45,7	35,6	28,1	23,0	26,0
Микроклин	—	0,6	2,5	5,7	6,3	10,3	11,2	6,4	15,5	24,4	45,0	46,2
Биотит	19,4	13,8	8,4	6,0	11,6	4,7	3,2	6,6	10,1	4,9	2,8	1,9
Мусковит	—	6,3	3,7	4,2	3,5	—	7,3	1,5	4,1	1,3	0,2	2,1
Эпидот	2,0	2,0	2,5	1,7	0,8	2,2	0,5	1,2	2,2	6,2	1,2	—
Акцессорные	1,7	0,5	1,0	0,7	1,2	2,0	2,1	1,7	1,7	0,8	0,6	2,4
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Отмеченные контактовые проявления, по существу, не сказываются на общем составе мусковитово-шерловых, микроклиновых и сподуменовых пегматитов, т. е. не влияют на наши выводы.

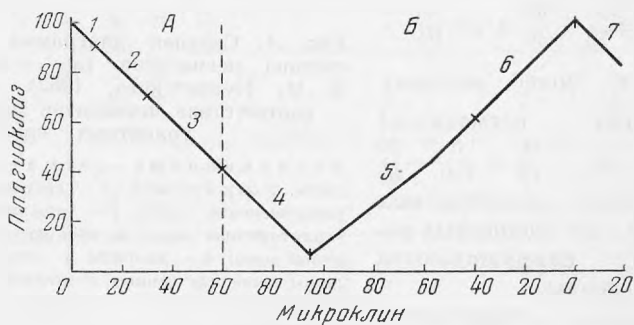


Рис. 2. График соотношения полевых шпатов в гранитоидах и пегматитах (по данным 85 количественно-минералогических подсчетов). Сумма полевых шпатов отнесена к 100; здесь, как и на рис. 1, весь альбит относится к плагиоклазу.

Цифры на графике обозначают: 1 — тоналиты; 2 — гранодиориты; 3 — граниты; 4 — микроклиновые пегматиты; 5 — мусковит-шерловые пегматиты; 6 — сподуменные пегматиты; 7 — замещающий комплекс сподуменных пегматитов.
А — поле гранитоидов; Б — поле пегматитов.

2. При сравнении данных химических анализов гранитоидов и пегматитов изученного района (табл. 3) выявляется, прежде всего, перелом в соотношении в них щелочей. По мере следования от гранодиоритов к микроклиновым пегматитам происходит накопление калия. От микроклиновых пегматитов к литиевым пегматитам и в пределах последних отмечается понижение содержания калия. В графическом изображении процесс обогащения и последующего обеднения пород калием выглядит почти одинаково как для частных анализов литиевых пегматитов и ассоциирующихся

Таблица 3

Примеры химического состава некоторых гранитоидов и пегматитов изученного района

Окислы	1		2		3		4		5		6		7	
	Вес. %	Молек. колич.	Вес. %	Молек. колич.	В. %	Молек. колич.	Вес. %	Молек. колич.	Вес. %	Молек. колич.	Вес. %	Молек. колич.	Вес. %	Молек. колич.
SiO ₂	71,66	1194	75,57	1259	71,92	1198	73,90	1230	76,37	1272	72,50	1207	74,96	1248
TiO ₂	0,36	005	0,21	003	0,11	001	0,17	002	0,06	001	Следы	000	—	—
Al ₂ O ₃	14,22	139	12,87	126	14,47	142	14,30	140	13,32	130	17,04	167	15,40	151
Fe ₂ O ₃	1,29	008	1,07	007	1,44	009	0,79	005	0,70	004	0,07	001	0,49	003
FeO	0,89	012	0,96	013	1,34	018	0,81	011	0,22	003	0,67	009	0,35	005
MgO	0,38	010	0,43	010	0,70	017	0,32	007	0,17	005	0,22	005	0,05	001
MnO	0,12	001	0,02	000	0,02	000	0,06	000	0,04	000	0,12	001	0,07	001
CaO	1,11	020	1,24	021	2,34	042	1,35	024	0,62	011	1,10	020	0,45	008
Na ₂ O	2,27	037	2,62	042	3,50	056	2,96	048	3,20	052	3,26	053	4,18	068
K ₂ O	6,90	073	5,11	054	3,85	040	5,04	053	4,80	051	2,71	029	0,34	003
Li ₂ O	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,39	047	2,19	073
P ₂ O ₅	—	—	Следы	—	0,11	000	0,02	000	—	—	0,25	002	0,28	002
BeO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,05	—	Следы	—
SO ₄	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,20	—	»	—
H ₂ O	0,05	—	0,07	—	0,13	—	0,19	—	0,15	—	0,14	—	0,20	—
Потери при прок.	0,22	—	0,34	—	0,33	—	0,39	—	0,49	—	0,69	—	0,69	—
Сумма	99,47	—	100,51	—	100,26	—	100,30	—	100,14	—	100,41	—	99,65	—
Анализы	В. И. Влодавца		Автора		Автора		Автора		А. А. Чумакова		И. А. Матроз		Автора	

1, 2. — гранитные породы глубинного очага, вероятно, родоначального для гранитов, ассоциирующихся со сподуменовыми пегматитами; 3, 4, 5 — граниты, ассоциирующиеся со сподуменовыми пегматитами; 6, 7 — сподуменовые пегматиты.

с ними гранитоидов изученного района (рис. 3), так и для средних составов гранитов и пегматитов северо-запада СССР (рис. 4).

Главнейшие черты химизма гранитных пегматитов показаны А. Е. Ферманом (1941) в цифрах кларков породообразующих элементов на примере гранитных пород и пегматитов Урала. Для северо-запада СССР также представляется возможным рассмотреть некоторые особенности химизма гранитных пород и связанных с ними пегматитов (по данным средних химических составов, вычисленных как средние арифметические, табл. 4).

Сопоставление среднего гранодиорита, гранита, микроклинового пегматита и литиевого пегматита обнаруживает следующую направленность

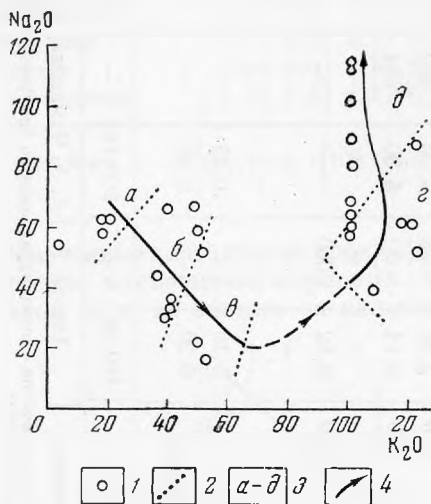


Рис. 3. График соотношения щелочей в литиевых пегматитах и ассоциирующихся с ними гранитоидов.

1 — содержание Na_2O и K_2O в молекулярных количествах (по данным химических анализов); 2 — примерные границы разновидностей горных пород; 3 — горные породы (а — тоналиты, б — гранодиориты, в — граниты, г — сподуменовые пегматиты, д — лепидолитосподуменовые пегматиты); 4 — кривая изменения соотношения щелочей в процессе последовательного образования горных пород

При переходе к литиевым пегматитам обнаруживается уменьшение содержания тех окислов, количество которых ранее увеличивалось, и наоборот, увеличивается содержание тех окислов, количество которых прежде уменьшалось. Кроме того, появляются некоторые специфические окислы. Вместе с тем по соотношению глинозема, щелочей и извести все эти породы относятся к плюмазитовому ряду.

Одна из особенностей химического состава литиевых пегматитов состоит в пониженном, по сравнению с гранитами, и в повышенном, по сравнению с микроклиновыми пегматитами, содержании MgO , FeO , при повышенном содержании Al_2O_3 и присутствии Li_2O (рис. 5). Эти изменения валового химического состава сочетаются с широко распространенным в породообразующих минералах литиевых пегматитов

изменения содержания окислов (в молекулярных количествах, табл. 4). От гранодиорита к микроклиновому пегматиту возрастает содержание кремнезема и калия, но падает содержание натрия. В литиевом пегматите — самое низкое содержание калия, кремнезема меньше, чем в граните, а натрия больше, чем в гранодиорите. Содержание глинозема и воды (потери при прокаливании) падает от гранодиорита к граниту, а затем возрастает в направлении к литиевому пегматиту. Содержание железа и магния падает от гранодиорита к микроклиновому пегматиту, но несколько возрастает в литиевых пегматитах. От гранодиорита к литиевому пегматиту содержание кальция постепенно понижается, отношение же натрия к калию по мере перехода от гранодиорита к литиевому пегматиту изменяется на обратное. В литиевом пегматите присутствуют литий, рубидий, цезий и отмечается повышенное количество фосфора.

В целом, в изменении содержания окислов наблюдается следующая картина (рис. 5): большая часть их закономерно изменяется по мере перехода от гранодиоритов к гранитам и далее к микроклиновым пегматитам.

Таблица 4
Средний химический состав гранитов и пегматитов северо-запада СССР

Оксиды	1		2		3		4	
	Вес. %	Молек. коллич.	Вес. %	Молек. коллич.	Вес. %	Молек. коллич.	Вес. %	Молек. коллич.
SiO ₂	67,98	1131	72,87	1213	73,72	1227	72,19	1202
TiO ₂	0,32	004	0,18	003	—	—	0,01	—
Al ₂ O ₃	16,25	159	14,59	143	15,14	148	16,79	165
Fe ₂ O ₃	1,36	009	0,99	006	0,33	002	0,83	005
FeO	1,86	026	1,14	015	—	—	0,44	006
MnO	0,07	001	0,03	000	—	—	0,08	001
MgO	1,16	028	0,48	011	0,26	006	0,35	009
CaO	2,78	049	1,76	031	1,25	021	0,68	012
Na ₂ O	4,49	073	3,54	056	3,27	053	4,81	077
K ₂ O	3,07	033	3,85	040	5,51	058	1,12	012
Li ₂ O	—	—	—	—	—	—	1,22	041
P ₂ O ₅	0,03	—	0,02	—	—	—	0,21	001
Rb ₂ O	—	—	—	—	—	—	0,18	001
Cs ₂ O	—	—	—	—	—	—	0,38	001
Потери при прок.	0,63	—	0,55	—	0,52	—	0,71	—
Сумма	100,00	—	100,00	—	100,00	—	100,00	—
Количество анализов	22	—	35	—	50	—	12	—

1 — гранодиорит с Кольского полуострова и из Карелии; 2 — гранит с Кольского полуострова и из Карелии; 3 — микроклиновый керамический пегматит из Карелии; 4 — литиевый редкометалльный пегматит с Кольского полуострова.

(сподумене, слюдах, турмалинах и др.) изоморфным замещением Mg и Fe на Li и Al по типу $2Mg(Fe^{2+}) \rightarrow LiAl$.

Другой особенностью химического состава литиевых пегматитов является пониженное содержание K₂O, повышенное содержание Na₂O при несколько пониженном количестве SiO₂ по сравнению с микроклиновыми пегматитами и с гранитами.

Сравнивая между собою средние составы разновидностей литиевых пегматитов: сподуменовых (табл. 5, анализ 1) и лепидолито-сподуменовых (табл. 5, анализ 2), обнаруживаем некоторые различия между ними: в более поздних лепидолито-сподуменовых пегматитах (анализ 2) убывает содержание SiO₂, CaO, K₂O, Li₂O и отчасти Al₂O₃, FeO, MnO, но возрастает содержание Fe₂O₃, MgO и особен-

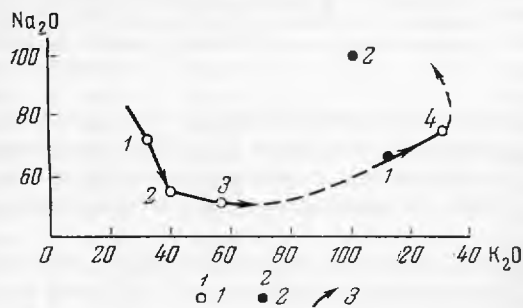


Рис. 4. График соотношения щелочей в пегматитах и гранитных породах северо-запада СССР (по данным средних составов).

Содержание Na₂O и K₂O в молекулярных количествах: 1 — для гранитоидов и пегматитов Кольского полуострова и Карелии (номера у кружков соответствуют номерам табл. 4); 2 — для разновидностей литиевых пегматитов Кольского полуострова (номера у кружков соответствуют номерам табл. 5); 3 — кривая изменения отношения щелочей

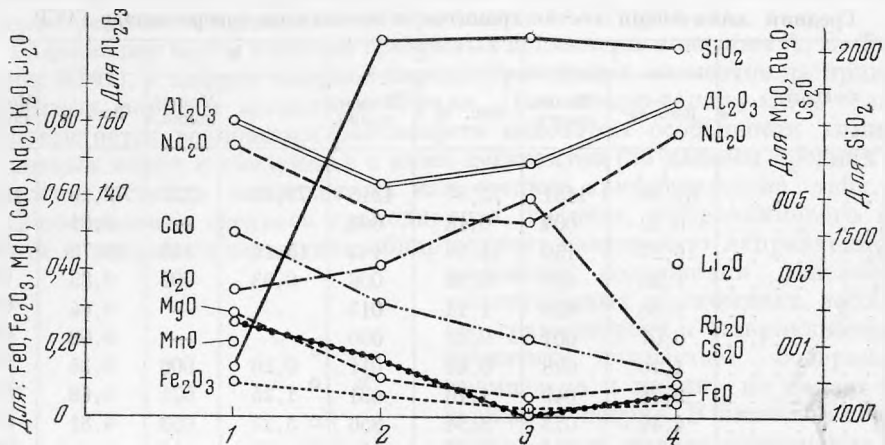


Рис. 5. Диаграмма изменения состава гранитной магмы, ведущего к образованию литиевых пегматитов.

На оси ординат даны молекулярные количества окислов. На оси абсцисс на равном расстоянии друг от друга показаны горные породы: 1 — гранодиориты; 2 — граниты; 3 — микроклиновые пегматиты; 4 — литиевые пегматиты (см. табл. 5)

Таблица 5

Средний химический состав разновидностей литиевых пегматитов изученного района

Окислы	Вес. %		Молек. колич.		Параметры (по Заварицкому)	
	1*	2	1	2		
SiO ₂	72,82	71,43	1242	1189		
TiO ₂	0,01	0,01	000	000	a	17,0 17,5
Al ₂ O ₃	16,94	16,62	166	163	c	0,9 0,5
Fe ₂ O ₃	0,75	0,94	004	006	e	4,2 4,4
FeO	0,61	0,11	008	001	s	77,9 77,6
MgO	0,31	0,44	007	011		
MnO	0,10	0,04	001	000	a'	60,6 62,7
CaO	0,81	0,44	014	008	f'	27,3 19,4
Na ₂ O	4,05	6,35	065	102	m'	12,1 17,9
K ₂ O	1,51	0,34	016	003		
Li ₂ O	1,51	0,64	050	021	n	50 76,8
P ₂ O ₅	0,20	0,24	001	001	φ	15,2 17,9
Rb ₂ O	—	0,54	—	003	Q	20,9 19,7
Cs ₂ O	—	1,17	—	004		
Потери при прок.	0,38	0,69	—	—		
Сумма	100,0	100,0	—	—		

1 — сподуменовые пегматиты; 2 — лепидолито-сподуменовые пегматиты.

* Rb и Cs не определялись, так как эти пегматиты почти не содержат специфических Rb-Cs-содержащих минералов.

** Li₂O, Rb₂O, Cs₂O при пересчете объединены со щелочами.

но Na_2O по сравнению с более ранними сподуменовыми пегматитами (анализ 1). Главное отличие лепидолито-сподуменовых пегматитов от сподуменовых состоит в пониженном содержании SiO_2 и Li_2O и в повышенном содержании Na_2O .

Согласно пересчетам по методу А. Н. Заварицкого (1944), от гранодиоритов к литиевым пегматитам падает «известковистость» (c), от гранодиоритов к микроклиновым пегматитам — «основность» (b), возрастающая

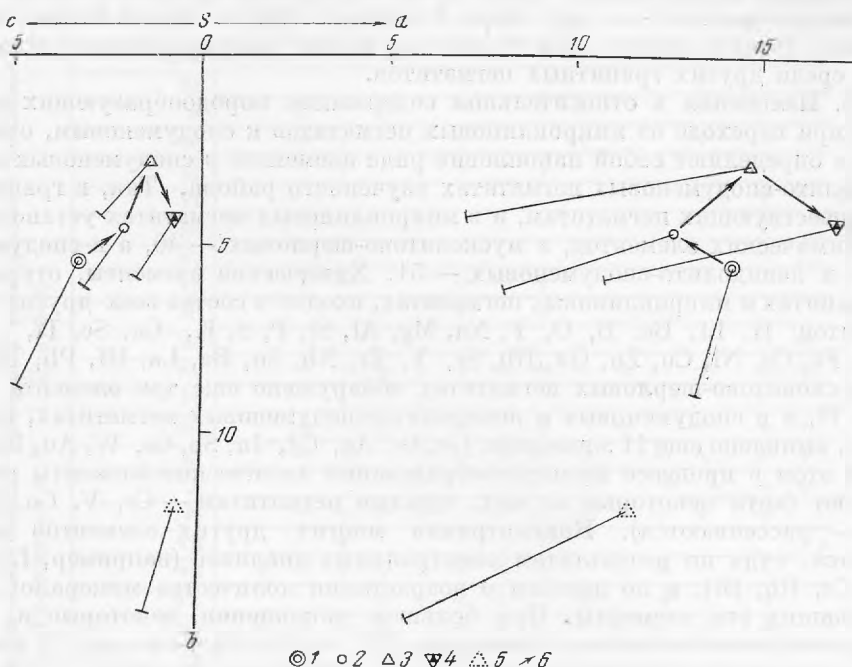


Рис. 6. Петрохимическая диаграмма (по А. Н. Заварицкому, 1944).

1 — гранодиориты; 2 — граниты; 3 — микроклиновые пегматиты; 4 — литиевые пегматиты, в которых литий пересчитан со щелочами, исходя из принадлежности его к щелочным металлам; 5 — они же, но литий объединен с магнием (принимая во внимание, что в кристаллических решетках породообразующих минералов — сподумене, слюдах, турмалине и других — литий занимает места магния и железа); 6 — направленность дифференциации (использованы данные средних составов горных пород, см. табл. 4).

затем в литиевых пегматитах; «щелочность» (a) характеризуется неустойчивостью. В числовых характеристиках (табл. 5) выступает большая основность (b) и щелочность (a) лепидолито-сподуменовых пегматитов и их меньшая известковистость (c) и кислотность (s) по сравнению со сподуменовыми.

Развитие процесса магматической дифференциации наглядно изображается на диаграмме Заварицкого (рис. 6). Переходами от гранодиоритов (рис. 6, 1) к гранитам (рис. 6, 2) и далее к микроклиновым пегматитам (рис. 6, 3) отмечен нормальный ход этого процесса. При переходе от калиевых — микроклиновых пегматитов (рис. 6, 3) к литиевым (рис. 6, 4), процесс приобретает несколько иную направленность (особенно резко выраженную в случае объединения Li_2O с MgO при расчете среднего анализа (рис. 6, 5).

Отмеченное (рис. 3, 4, 5, 6) изменение направленности процесса дифференциации показывает, что отчетливо выраженная тенденция нако-

пления калия в расплаве, достигнув определенного предела (в микроклиновых пегматитах), прекращается и сменяется тенденцией накопления других щелочных металлов, в первую очередь лития (в сподуменовых пегматитах), а затем натрия, рубидия и цезия (в лепидолито-сподуменовых пегматитах). Именно этими обстоятельствами, очевидно, объясняется геохимическое различие между микроклиновыми гранитами и микроклиновыми пегматитами, с одной стороны, и разнообразными типами литиевых пегматитов — с другой (А. Гинзбург, 1955), а также четкая химическая обособленность всей группы литиевых (натро-литиевых) пегматитов среди других гранитных пегматитов.

3. Изменения в относительном содержании породообразующих окислов при переходе от микроклиновых пегматитов к сподуменовым, очевидно, и определяют собой накопление ряда элементов в сподуменовых и лепидолито-сподуменовых пегматитах изученного района. Так, в гранитах, предшествующих пегматитам, и в микроклиновых пегматитах установлено 37 химических элементов, в мусковитово-шерловых — 40, а в сподуменовых и лепидолито-сподуменовых — 51. Химические элементы, открытые в гранитах и микроклиновых пегматитах, входят в состав всех других пегматитов: H, Li, Be, B, O, F, Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Sn, Ba, La, Hf, Pb, Th, U; в мусковитово-шерловых пегматитах обнаружено еще три элемента: Mo, Ta, Tl, а в сподуменовых и лепидолито-сподуменовых пегматитах, кроме того, выявлено еще 11 элементов: Ge, As, Ag, Cd, In, Sb, Cs, W, Au, Bi, Se. При этом в процессе пегматитообразования химические элементы не исчезают (хотя некоторые из них, чуждые пегматитам — Cr, V, Co, Ni и др. — рассеиваются). Концентрация многих других элементов повышается, судя по результатам спектральных анализов (например, Li, Be, Tl, Cs, Rb, Bi), и по данным о возрастании количества минералов, содержащих эти элементы. При большем накоплении некоторые из них образуют самостоятельные минералы (Li, Au, Zn, Cs, Be и др.). В восьми «проходящих» и в шести специфических минералах гранитов и пегматитов 112 спектральными анализами найдено 38 химических элементов: Li, Be, F, Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ag, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Hf, Ta, Tl, Pb, Bi, Th (табл. 6). Остальные элементы определены различными методами, а также по химическому составу минералов (например, вольфрамит, молибденит, F и H — в слюдах, O — в окислах и силикатах и т. п.).

4. Весь имеющийся цифровой материал по вещественному составу пегматитов изученного и других районов северо-запада СССР подтверждает установленные ранее А. Е. Ферсманом (1941) и А. И. Гинзбургом (1955) характерные черты состава микроклиновых, шерлово-мусковитовых и натро-литиевых пегматитов.

Точно так же на конкретных примерах изменения валового содержания породообразующих минералов и отдельных окислов, в частности — окислов щелочных металлов, в ходе развития процесса образования гранитов и пегматитов несколько дополняется приведенная А. И. Гинзбургом (1955) геохимическая последовательность смены одних щелочей другими. По нашим данным, суммарная концентрация щелочей от гранитов до литиевых пегматитов происходит в следующем порядке:

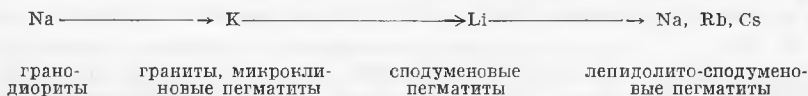


Таблица 6

Список химических элементов, открытых в изученных минералах спектральным анализом
(Аналитики Н. Н. Колесников и П. В. Лизунов)

Минералы	Li	Be	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ag	Sn	Sb	Cs	Ba	La	Hf	Ta	Tl	Pb	Bi	Th	CaF ₂	Количество анализов минералов *																				
																																							a	б	в	г	д	е	ж														
																																							Кварц			+	+	+	+			+		+			+	+			+		+
Плагиоклаз . .		+	+	+	+	+		+	+		+	+		+	+			+		+		+		+		+			+							+	+							2	2	2	2	4	—	12									
Микролин . . .	+	+	+	+	+	+		+	+		+			+	+			+		+	+					+								+	+											2	4	2	2	3	—	13							
Турмалин . . .	+	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+		+			+		+									+	+											1	3	3	—	11	2	20					
Гранат		+		+	+	+			+	+	+	+		+	+		+		+	+		+	+		+	+										+												1	3	—	2	1	—	7					
Мусковит . . .	+	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+		+		+	+		+	+		+	+				+	+													2	4	3	3	3	—	15				
Биотит	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+		+		+		+			+																					2	2	—	—	—	—	4			
Лепидолит . .	+	+	+	+	+	+		+	+		+			+	+			+		+	+		+	+		+		+	+					+	+															—	—	—	—	3	—	3			
Апатит		+		+	+	+	+	+	+		+			+	+	+		+	+	+		+	+		+	+				+						+	+													+	2	—	2	2	1	—	7		
Сподумен . . .	+	+	+	+	+	+		+	+		+			+	+			+		+				+		+																									—	—	—	4	4	—	8		
Берилл	+	+	+	+	+	+		+	+		+			+	+			+	+	+		+					+																									—	—	—	2	2	—	4	
Циркон	+	+		+	+				+	+	+			+	+			+				+		+	+		+									+	+	+															1	—	—	—	1	—	2
Танталит-колумбит . .		+		+	+	+			+		+			+	+			+	+							+				+	+	+																				—	—	1	—	1	—	2	
Касситерит . .	+		+	+	+				+	+	+			+												+	+																										—	—	—	—	1	—	1

* а — гранит; б — микроклиновый пегматит; в — шерловый пегматит; г — сподуменовый пегматит; д — лепидолито-сподуменовый пегматит; е — кварцевые жилы; ж — общее количество анализов.

Все изложенное об изменении минералогического и химического состава горных пород от гранодиоритов к литиевым пегматитам позволяет сделать следующее заключение.

1. Литиевые пегматиты, относящиеся к производным гранитной магмы, не являются непосредственным продуктом ее дифференциации.

2. Постепенная эволюция гранитного расплава, выражающаяся в обогащении его калием и кремнием, завершается образованием микроклиновых пегматитов.

3. Появлению обогащенных литием расплавов предшествовало резкое изменение в соотношении химических элементов, вызванное прежде всего прекращением концентрации калия вследствие кристаллизации микроклиновых пегматитов (или отделения их расплава).

4. Образование богатого литием пегматитового расплава связано с существенным отличием химизма оставшейся порции гранит-пегматитового расплава.

5. Процесс накопления лития, достигший наивысшего значения в сподуменовых пегматитах, получает в лепидолито-сподуменовых пегматитах обратную направленность. Вместе с тем сохраняется обычная тенденция к понижению содержания калия, кальция, силиция, зато натрий концентрируется в больших количествах.

6. Отмеченные изменения в соотношениях главных петрогенных элементов, очевидно, и создают благоприятную обстановку для концентрации сначала лития, а затем рубидия, цезия и других редких элементов в пегматитовом расплаве, а также для появления специфических минералов, содержащих эти элементы.

ЛИТЕРАТУРА

- Гинзбург А. И. Минералого-геохимическая характеристика литиевых пегматитов.— Труды Минер. музея АН СССР, № 7, 1955.
- Заварицкий А. Н. Введение в петрохимию. Изд-во АН СССР, 1944.
- Куплетский Б. М. Количественно-минералогический состав гранитоидов. В кн.: «Вопросы петрографии и минералогии», т. I. М., Изд-во АН СССР, 1953.
- Ферсман А. Е. Пегматиты, т. I. 3-е переработ. и дополн. изд. М., Изд-во АН СССР, 1941.