

УДК 549.623.52.321.1 (470.5)

© Д. чл. УАГН Г.И. Самаркин, Е.Я. Самаркина, Г.В. Пальгуева

СОСТАВ, СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И УСЛОВИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МУСКОВИТОВ И СОСУЩЕСТВУЮЩИХ С НИМИ БИОТИТОВ ИЗ ГРАНИТОВ ЮЖНОГО УРАЛА*Институт геологии и геохимии УрО РАН, г.Екатеринбург*

Автореферат

Изучены 22 мусковита и 4 сосуществующих с ними биотита из верхнепалеозойских и среднепалеозойских гранитов Южного Урала. В верхнепалеозойских гранитах мусковит замещает биотит в автометасоматическую стадию перекристаллизации гранитов, в среднепалеозойских - кристаллизация мусковита связана с этапом перекристаллизации гранитов в условиях близких к фации зеленых сланцев. Все мусковиты являются алюмоселадонитами с политипной модификацией 2M₁. Содержания редких щелочных элементов в слюдах из верхнепалеозойских гранитов варьируют: в мусковитах - Li=162-1051 г/т, Rb=498-1450 г/т, Cs=12.5-107 г/т; в биотитах - Li=480-2254 г/т, Rb=531-1115 г/т, Cs=42-212 г/т; из среднепалеозойских гранитов - в мусковитах Li=13-439 г/т, Rb=218-691 г/т, Cs=13/2-62 г/т; в биотитах Li=131-251 г/т, Rb=55-199 г/т, Cs=7.2-16 г/т. Снижение концентраций редких щелочных элементов в слюдах из среднепалеозойских гранитов связано с их перекристаллизацией (хлоритизацией, серицитизацией и т.д.).

COMPOSITION, PECULIARITIES OF STRUCTURE AND
CONDITIONS OF THE CRYSTALLIZATION OF MUSKOVITES AND
OF THE COEXISTENS BIOTITES OF THE GRANITES OF THE
SOUTHERN URALS

G. I. Samarkin, E. Ya. Samarkina, G. V. Palueva
IGG UrD RAS, Ekaterinburg, Russia

Abstract

From the Upper Paleozoic and Middle Paleozoic granitic massives of the Southern Urals the 22 simples of the muscovites were studied. All

they are aluminoseladonite of the polytypic modification 2M₁. Muscovites were crystallized in postmagmatic stage the granitic massives formation. Concentrations of rare alkali elements in micas from the Upper Paleozoic granites variation: for muscovites - Li=162-1051 г/т, Rb=498-1450 г/т, Cs=12.5-107 г/т; for biotites - Li=480-2254 г/т, Rb=531-1115 г/т, Cs=42-212 г/т; from the Middle Paleozoic granites - for muscovites Li=13-439 г/т, Rb=218-691 г/т, Cs=13/2-62 г/т; for biotites Li=131-251 г/т, Rb=55-199 г/т, Cs=7.2-16 г/т. The decrease concentration of this elements in muscovites from the Middle Paleozoic granitic were result by of the metamorphic the recrystallization granitic.

Давно установлено, что слюды являются чуткими индикаторами условий кристаллизации гранитоидных пород. Особенно это относится к группе биотита [6, 9]. На примере уральских гранитов данный вывод подтвержден работами многих исследователей [2, 13, 18]. При этом большинством исследователей считается, что биотит в гранитах имеет магматическое происхождение, то есть кристаллизовался из исходного гранитного расплава. Однако некоторые исследователи считают, что это утверждение в достаточной мере условно [8]. Не так обстоит дело с мусковитом, который в гранитах кристаллизуется в широком диапазоне температур и давлений от возможно магматической до постмагматической стадий [8, 11, 23]. Мусковит магматической стадии кристаллизации выделяется в лейкогранитах Центрального массива Франции [20], в пересыщенных глиноземео двуслюдяных гранитах юго-восточной Австралии [22] и других районах. Основываясь на данных экспериментальных исследований по плавлению мусковита [5, 19, 24] и последовательности кристаллизации породообразующих и аксессуарных (апатита) минералов в двуслюдяных гранитах, на Урале этой точки зрения придерживаются [1]. Большинство же исследователей считает, что мусковит в гранитах, обычно, кристаллизуется в постмагматическую стадию формирования гранитоидных пород. Наиболее широко он развит в измененных постмагматическими процессами гранитах. Состав его определяется, главным образом, длительностью влияния постмагматических растворов на состав гранитов [7, 17].

Имея ввиду указанные два подхода к условиям кристаллизации мусковитов в двуслюдяных и мусковитовых гранитах мы изучили 22 монофракции мусковитов из верхнепалеозойских и среднепалеозойских батолитовых массивов Южного Урала (табл. 2, 3, 4). Все мусковиты методом порошковой дифрактометрии исследованы на дифрактометре ДРОН-3 в фильтрованном Си-излучении, скорость съемки и записи 1°/мин. На основании межплоскостного расстояния величины d

отражения 060 для половины из них рассчитаны размеры параметра 76

элементарной ячейки *b* (табл. 3). Методом пламенной фотометрии в мусковитах определены Li, Rb, Cs (табл. 4). Для девяти мусковитов выполнены полные химические анализы, для четырех из них произведен химический анализ сосуществующих биотитов (табл. 2). Большая часть мусковитов сопровождается химическими анализами материнских пород (табл. 1).

Петрохимический состав гранитоидов

Гранитоиды, содержащие в своем составе мусковит, относятся к группе гранита ($SiO_2=72-74\%$) и лейкогранита ($SiO_2=74-80\%$). В верхнепалеозойских батолитовых массивах мусковитизация гранитов наблюдается в эндоконтактах и апикальных частях массивов, кристаллизовавшихся в условиях слабо проницаемой кровли, а так же в сопровождающих их жильных пегматоидных гранитах. При этом состав гранитов практически не меняется. В этом случае происходит автоматическое (высокотемпературное) замещение биотита мусковитом в парагенезисе $Kв+Пл+КПШ+Би+Му$ с сохранением первичной структуры и текстуры гранитов. При замещении биотита мусковитом отчетливо наблюдаются "растворенные" тонкие буроватые реликты биотита в мусковите. В верхнепалеозойских гранитах, наряду с замещением биотита мусковитом, мусковит так же развит в интерстициях зерен кварца, плагиоклаза и калиевого полевого шпата, иногда - по микротрещинам в этих минералах.

В отличие от верхнепалеозойских батолитовых массивов мусковитизация гранитов в среднепалеозойских массивах имеет площадное развитие. Кристаллизация мусковита здесь связана с процессами катаклаза и перекристаллизации гранитов в условиях близких к фации зеленых сланцев, сопровождается хлоритизацией биотита и серицитизацией плагиоклаза. Наряду с первичной гипидиоморфнозернистой структурой в гранитах широко проявлены катакластические структуры. Мусковит развивается в парагенезисе $Kв+Пл+КПШ+Би+Му+Хл±(Эп)$. В этом парагенезисе в существенно натриевых гранитах калиевый полевой шпат отсутствует (пр. 250-1, 250-3). В среднепалеозойских гранитах мусковит наиболее развит в интерстициях породообразующих минералов и по микротрещинам в зонах катаклаза гранитов, но так же замещает и биотит. Если в среднепалеозойских гранитах мелкочешуйчатый мусковит (серицит) нередко замещает плагиоклаз, то для верхнепалеозойских гранитов развитие мусковита (серицита) по плагиоклазу не характерно.

Все граниты (за исключением пр. 403) принадлежат к типу пересыщенных глиноземом ($Al>Al-(2Ca+Na+K)$). Наиболее высокая пересыщенность глиноземом среди изученных верхнепалеозойских гранитов установлена в жильных пегматоидных гранитах (пр. 114,

77

106), в среднепалеозойских - в лейкоплагиогранитах (пр. 250-1, 250-3). Как верхнепалеозойские так и среднепалеозойские мусковитсодержащие граниты характеризуются высокой железистостью и низкой известковистостью (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав (мас.%) гранитов Южного Урала

№№	107	113	114-1	115	106	114	251	403	129/182
SiO ₂	72.20	73.60		72.00	74.00	74.30	73.19	74.05	72.42
TiO ₂	0.24	0.12		0.24	0.07	0.05	0.12	0.20	0.22
Al ₂ O ₃	13.60	14.00		13.80	14.40	14.80	14.67	13.60	14.76
Fe ₂ O ₃	2.15	2.00		2.80	1.14	2.75	0.70	1.91	0.74
FeO							1.52		1.15
MnO							0.06		0.07
MgO	1.05	0.72		0.33	0.09	0.06	0.05	0.60	0.58
CaO	1.15	0.90		1.45	0.20	0.45	0.86	1.35	1.32
Na ₂ O	3.20	3.65		3.85	3.13	4.50	4.08	4.05	3.95
K ₂ O	4.90	5.00		4.25	6.21	4.28	3.46	4.60	4.02
P ₂ O ₅							0.04		0.07
nnn	0.77	0.57		0.63	0.81	0.52	1.02	0.46	0.49
Li	73	30	44	47	44	73	11	211	41
Cs	9.3	5.6	5	3.3	5.9	12	0.7	22.2	13.2
Rb	220	170	180	220	210	280	105	240	323
Sr	195	161	204	223	128	18	267	218	175
AL	+17	-18		+3	+40.6	+36.4	+52.2	-11	+11.2
f	64.8	71.4		88.4	91.9	97.6	97.7	74.1	75.8
CA	12.4	9.4		15.2	2.1	4.9	10.2	13.5	14.2

Продолжение табл. 1

№№	211	404	405	209	250-1	250-3	813	30
SiO ₂	72.45	73.45	76.40	74.80	74.54	80.93	72.72	
TiO ₂	0.23	0.18	0.06	0.16	0.05	0.14	0.09	
Al ₂ O ₃	13.50	14.00	13.00	12.90	13.55	10.70	15.12	
Fe ₂ O ₃	2.08	2.62	1.29	2.22	0.86	1.31	0.24	
FeO					1.58	0.73	1.79	
MnO					0.06	0.05	0.12	
MgO	1.35	0.59	0.14	0.22	1.43	0.79	0.35	
CaO	0.80	0.80	0.42	0.45	0.40	0.20	1.44	
Na ₂ O	3.70	4.05	4.05	3.57	3.65	0.41	3.69	
K ₂ O	4.33	4.10	4.75	4.44	1.45	2.08	2.96	
P ₂ O ₅					0.05		0.04	
nnn	1.06	0.95	0.52	0.40	1.62	2.16	0.98	
Li	36	16	14	49			4	18
Cs	9.4	2.9	4.8	56			5	3
Rb	193	128	228	414	98	68	60	190
Sr	216	278	328	23	93	90	403	100
AL	+23.4	+2.7	+7.2	+26.4	+102	+146	+20.2	
f	58.0	80.0	89.2	90.0	62.2	70.7	85.2	
CA	9.1	8.9	4.5	5.3	7.3	7.4	8.5	

Примечание к таблице 1: 107, 113, 114-1, 115 - гранит мусковит-биотитовый главной и второй фаз Суундукского массива, PZ₃. 106, 114 - гранит мусковитовый пегматоидный жильной серии Суундукского массива, PZ₃. 251 - лейкогранит биотит-мусковитовый Бутакского массива, PZ₂. 403, с129/182 - гранит мусковит-биотитовый 78

Продолжение примечания к таблице:

Нижне-Ушкаттинского массива, PZ₃. 211, 404, 405 - гранит биотит-мусковитовый Средне-Ушкаттинского массива, биотит замещается хлоритом, PZ₂. 209 - гранит мусковит-биотитовый малых интрузий, район молибденового м-я Восток, PZ₃. 250-1, 250-3 - плагиогранит хлоритизированный, галька из C₁ конгломератов северного окончания Бутакского массива, PZ₂. 813 - мусковит-биотитовый гнейсо-гранит Милисайского массива, PZ₂₋₃, Мугоджарское поднятие. 30 - пегматоидный гранит Карабутакского массива, PZ₃. Место взятия проб гранитов см. [15]. Анализы 250-1, 250-3, 251 - выполнены химическим методом в ЦХЛ объединения "Оренбурггеология", остальные - рентгенофлюоресцентным методом на установке СРМ-18 в Институте геологии и геохимии УрО РАН. Железо дано в виде Fe₂O₃. Rb, Sr - определены рентгенофлюоресцентным методом на установке VRA-30 в Институте геологии и геохимии УрО РАН. Li, Cs - фотометрическим методом в объединении "Оренбурггеология". Чувствительность Rb-3 г/т, Sr-15 г/т, Li-1 г/т, Cs-0.1 г/т. AL=Al-(2Ca+Na+K) в ат. к-вах, f=FeO'/(FeO'+MgO), %, CA=CaO/(CaO+Na₂O+K₂O), %.

Химический состав биотитов.

Изученные биотиты, сосуществующие с мусковитом, относятся к магнезиально-железистым разновидностям. На классификационной диаграмме аннит-флогопит-истонит-сидерофиллит фигуративные точки химического состава биотитов располагаются в истонит-сидерофиллитовом квадранте диаграммы и образуют поле вытянутое вдоль диагонали флогопит-сидерофиллит и ограниченное отношением истонит:сидерофиллит равным 1:2.3 [14]. Биотиты характеризуются по-

вышенной железистостью (Fe/(Fe+Mg)=62.6-69.8%) и высокой глиноземистостью (al=22.8-24.9%), что позволяет говорить о слабом изменении кислотности-щелочности при их кристаллизации [6]. Низкие отношения Si/Al и (Fe+Mg)/Al в биотитах позволяют относить их к первой группе щелочности, что отражает состав наиболее кислых типов пород [9]. В кристаллохимических формулах биотитов вариации глинозема в октаэдрической и тетраэдрической позициях составляют соответственно 0.52-0.67 и 1.00-1.22 форм. ед. (табл. 2). Между Al_{IV} и Al_{VI} установлена обратная зависимость. Небольшой разброс отношений Al_{VI}/Al_{IV} говорит о близких условиях кристаллизации биотитов [8, 14]. Это подтверждается и близким содержанием в них титана [2, 14 и др].

Химический состав мусковитов.

По данным химических анализов во всех мусковитах содержится примесь железа и магния и несущественная примесь лития (0.01-0.10%) и оксида марганца (0.01-0.07%). Вариации в них суммы катионов Fe³⁺+Fe²⁺+Mg=0.20-0.45 фор. ед. В мусковите из пегматита микроклин-альбитового типа сумма этих катионов равна 0.04 фор. ед. (табл. 2). Судя по отношению катионов Si:Al, во всех случаях меньше чем 3:1, изученные мусковиты принадлежат к минеральному виду мусковита [4]. На классификационных диаграммах все они относятся к

79

алюминоселадонитам (рис. 1, 2). Содержание селадонитовой молекулы в мусковитах равно 15.5-22.5%, парагонитовой - 4.3-9.1%. Более низкие содержания селадонитовой молекулы установлены в мусковитах из пегматитов микроклин-альбитового типа (2.5%) и из галек лейкоплагиогранитов Бутакского массива (10.0; 13.0%). В то же время в них соответственно увеличивается содержание парагонитовой молекулы - 11.0, 17.9 и 21,5% (табл. 2).

Содержание TiO₂ в мусковитах, находящихся в парагенезисе с биотитом в гранитах и метасоматически замещающих биотит, всегда больше (TiO₂=0.78-1.21%), чем в мусковитах из гранитов без биотита или в ассоциации с хлоритом и биотитом (TiO₂=0.14-0.53%). В мусковите из микроклин-альбитовых пегматитов титан не обнаружен (табл. 2). В исследованных мусковитах довольно отчетливо проявлена прямая корреляция между TiO₂ и MgO (рис. 3). Согласно [21] такой тренд распределения TiO₂ и MgO в мусковитах подтверждает постмагматические условия кристаллизации мусковитов. При замещении биотита мусковитом в мусковите, в отличие от замещенного биотита (f=62.2-69.8%, φ=27.2-48.1%), происходит увеличение коэффициента общей железистости (f=63.2-74.5%) и, особенно, коэффициента окисленности железа (φ=66.2-81.3%) (табл. 2). При этом в муско-

витах с увеличением MgO также увеличивается содержание FeO, отражая тем самым увеличение в этом направлении температуры их кристаллизации [16]. Если учесть, что наиболее высокие содержания MgO и FeO установлены в мусковитах из гранитов главной фазы верхнепалеозойских массивов, то можно сделать вывод о более высоких температурах их кристаллизации по сравнению с мусковитами из среднепалеозойских гранитов (рис. 4). Выделенные по возрасту формирования и относительным температурным условиям кристаллизации мусковиты из верхнепалеозойских и среднепалеозойских гранитов характеризуются соответственно различными вариациями отношений $Fe^{3+}:Fe^{2+}$ равными 1.95-3.68 и 3.73-18.60 (рис. 5). Это по мнению [12] отражает различия в окислительной обстановке их образования, то есть окислительная обстановка при кристаллизации мусковитов в среднепалеозойских гранитах была выше, чем в верхнепалеозойских гранитах. Глиноземистость изученных мусковитов не зависит от глиноземистости материнских пород (рис. 6).

Пересчет химического состава сосуществующих биотита и мусковита на кристаллохимические формулы по катионному методу показывает, что процесс метасоматического замещения биотита мусковитом в условиях повышающейся кислотности флюидов выражается в замене Fe, Mg, Ti, Mn на Al^{VI} и Al^{IV} на Si (табл. 2). При этом происходит существенный вынос Mg, Fe, Ti, Mn равный 1.00 суммы формуль-

ных единиц этих катионов, что фиксируется не только реликтами биотита в мусковите, но выделением новообразованных гидроокислов железа, рутила и других минералов, что отмечалось ранее [17 и др.]. Магний в этом случае, при отсутствии в гранитах хлорита, вероятно, является наиболее подвижным катионом и из гранитной системы полностью выносятся. По сравнению с верхнепалеозойскими гранитами мусковиты из среднепалеозойских гранитов, особенно из Бутакского массива, включая гальки плагиигранитов, характеризуются более высокой магнезиальностью и более высоким содержанием парагонитовой молекулы (рис. 1, табл.2). Наиболее низкой магнезиальностью характеризуются мусковиты из пегматитов микроклин-альбитового типа (пр.411). Низкие отношения в них $K/Rb=4$ позволяют сделать вывод о кристаллизации этих мусковитов в условиях парагенезисов относительно высокой щелочности [7]. Это подтверждается присутствием в кварц-мусковитовой зоне альбита и тесной ассоциацией этой зоны с клеветандитовой зоной в микроклин-альбитовом пегматите.

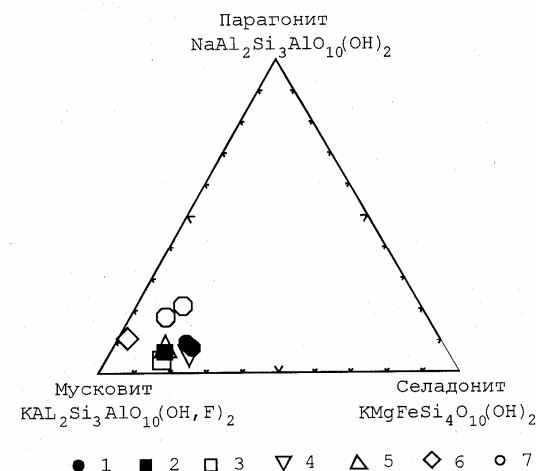


Рис. 1. Классификационная диаграмма мусковитов из гранитов и пегматитов Южного Урала в координатах мусковит-парагонит-селадонит. Мусковиты: 1 - из мусковит-биотитовых гранитов главной и второй фаз Суундукского массива, PZ₃; 2 - из жильных биотит-мусковитовых пегматоидных гранитов Суундукского массива, PZ₃; 3 - из хлоритизированных биотит-мусковитовых лейкогранитов Бутакского массива, PZ₂; 4 - из мусковит-биотитовых гранитов Нижне-Ушкаттинского массива, PZ₃; 5 - из хлоритизированных биотит-мусковитовых гранитов Средне-Ушкаттинского массива, PZ₂; 6 - из слюдисто-кварц-альбитовой зоны пегматитов микроклин-альбитового типа PZ₃; 7 - из галек хлоритизированных лейкоплагиигранитов раннекаменноугольных конгломератов, северное окончание Бутакского массива PZ₂.

Таблица 2

Химический состав слюды (мас.%) из гранитов Южного Урала

№ пр.	403			405			251			114-1		113		114		411		250-1		250-3	
	би	му	му	би	му	му	би	му	му	би	му	му	му	му	му	му	му	му	му	му	
SiO ₂	37.64	44.94	45.80	35.41	46.42	35.95	47.07	34.18	45.56	44.87	46.55	47.76									
TiO ₂	2.90	1.21	0.53	3.00	0.59	2.93	1.04	2.95	0.78	0.38	н.об	0.14	0.35								
Al ₂ O ₃	17.77	30.63	32.90	17.47	31.81	16.69	28.32	18.14	30.79	31.77	37.64	34.49	33.34								
Fe ₂ O ₃	6.60	3.78	3.11	11.29	3.15	6.36	4.62	8.69	4.10	3.45	н.об	2.48	2.68								
FeO	13.85	1.74	0.75	10.90	0.66	15.30	1.13	15.28	1.65	0.87	0.30	0.12	0.57								
MnO	0.41	0.05	0.04	0.37	0.04	0.58	0.07	0.63	0.04	0.05	0.15	0.02	0.01								
MgO	6.78	1.55	0.94	6.83	1.12	6.83	1.23	5.59	1.01	0.67	0.19	0.77	0.99								
CaO	0.46	0.15	0.30	0.37	0.14	0.58	0.43	0.50	0.19	0.19	0.15	0.11	0.33								
Na ₂ O	0.37	0.40	0.61	0.11	0.33	0.15	0.70	0.14	0.60	0.54	0.82	1.36	1.61								
K ₂ O	9.30	10.90	10.50	7.02	10.10	9.28	9.98	8.30	8.94	10.18	10.30	9.08	8.50								
F						0.66	0.19	0.21	0.13	0.26											
nnn	3.54	5.03	4.84	6.24	4.65	3.77	5.22	5.08	6.21	5.77	4.96	4.91	4.47								
Сум-ма	99.62	100.38	100.32	99.01	99.01	99.08	100.0	99.69	100.0	99.38	100.03	100.61									
Редкие элементы (n/g)																					
Li	2254	1032	139	131		1360	1051	1011	453	729	112		13								
Cs	212	107	22.6	16		85	40	61	12.5	39.6	176		13.2								
Rb	1115	1262	634	199	499	1075	1158	870	513	988	2032	588	218								
											0										
Sr	77		79	39	93	31	103	45	92	67	н.об	104	203								
Коэффициенты кристаллохимических формул																					
Si	3.00	3.05	3.08	2.87	3.13	2.92	3.23	2.78	3.10	3.13	2.99	3.09	3.14								
Al ^{IV}	1.00	0.95	0.92	1.13	0.87	1.08	0.77	1.22	0.90	0.88	1.01	0.91	0.86								
Al ^{VI}	0.67	1.49	1.68	0.54	1.66	0.52	1.52	0.52	1.56	1.68	1.95	1.79	1.72								
Fe ³⁺	0.40	0.19	0.16	0.69	0.16	0.39	0.24	0.53	0.21	0.18	0	0.12	0.13								
Fe ²⁺	0.92	0.10	0.04	0.74	0.04	1.04	0.06	1.04	0.09	0.05	0.02	0.01	0.03								
Mg	0.81	0.16	0.09	0.82	0.11	0.82	0.13	0.68	0.10	0.07	0.02	0.07	0.10								
Mn	0.03	0.00	0	0.03	0	0.05	0	0.05	0	0	0.01	0	0								
Ti	0.17	0.06	0.03	0.18	0.03	0.18	0.05	0.18	0.04	0.02	0	0.01	0.02								
K	0.94	0.94	0.90	0.73	0.87	0.96	0.87	0.86	0.77	0.89	0.88	0.77	0.71								
Na	0.06	0.05	0.08	0.02	0.04	0.02	0.09	0.02	0.08	0.07	0.11	0.17	0.20								
Ca	0.04	0.01	0.02	0.03	0.01	0.05	0.03	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02								
Li		0.06					0.06	0.06	0.02	0.04											
OH	0.51	2.14	1.96	0.37	2.06	0.56	1.88	0.80	2.17	2.00	2.04	2.04	2.02								
F						0.17	0.01	0.05	0.01												
al	23.9	40.8	43.3	23.9	42.1	22.8	38.1	24.9	41.0	42.5	49.3	45.0	43.0								
f	62.2	65.1	68.1	63.4	63.2	63.4	70.5	69.8	74.7	76.4	44.4	63.5	62.1								
φ	30.1	66.2	79.6	48.1	81.1	27.2	78.4	34.0	68.9	78.2	-	94.9	81.0								
Al ^{VI} /Al ^{IV}	0.67	1.56	1.82	0.48	1.91	0.48	1.96	0.43	1.73	1.91	1.93	1.96	2.00								
Fe ³⁺ /Fe ²⁺	0.43	1.95	3.73	0.93	4.29	0.37	3.68	0.51	2.23	3.57		18.60	4.23								
K/Rb	69.2	71.7	137.5	293	168	71.6	71.5	79.2	144.6	85.5	4.2	128	323.8								
Si/Al	1.80	1.23	1.18	1.71	1.24	1.81	1.41	1.60	1.25	1.23	0.98	1.14	1.22								
Параг	5.7	8.0		4.3		8.6		9.1	6.9	11.0	17.9	21.5									
Селад	22.5	14.5		15.5		21.5		20.0	15.0	2.5	10.0	13.0									

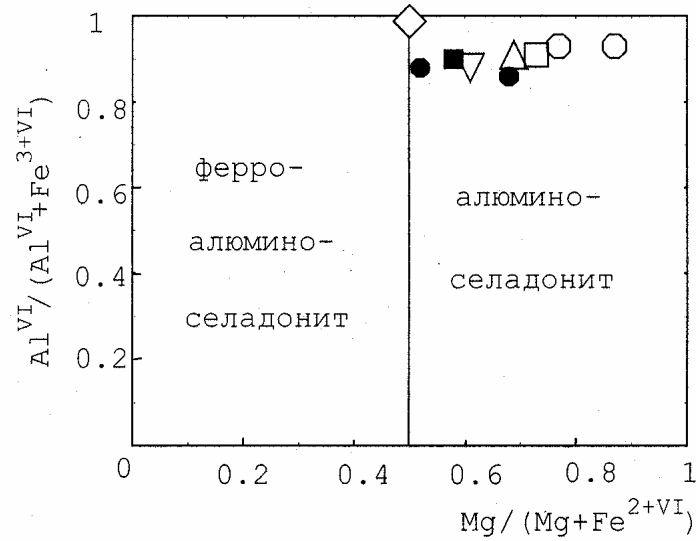


Рис. 2. Классификационная диаграмма мусковитов в координатах $Al^{VI}/(Al^{VI}+Fe^{3+VI}) - Mg/(Mg+Fe^{2+VI})$ [10]. Условные обозначения те же, что на рис. 1.

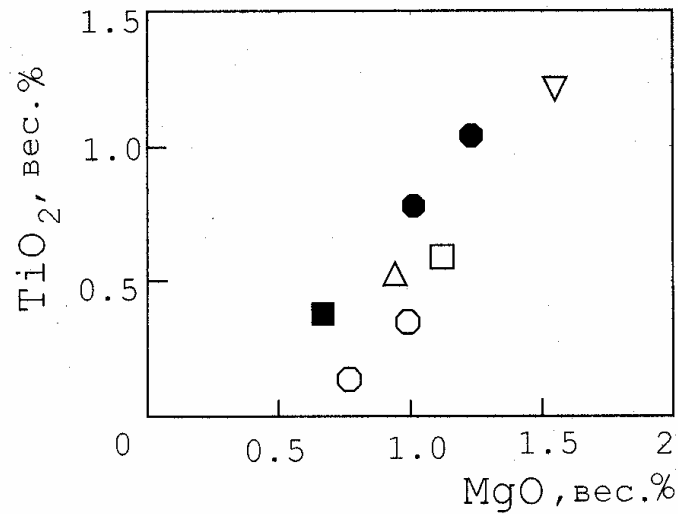


Рис. 3. Диаграмма $TiO_2 - MgO$ состава мусковитов. Условные обозначения те же, что на рис. 1.

Примечание. 403 - мусковит-биотитовый гранит Нижне-Ушкаттинского массива, PZ₃. Скальное обнажение в 3-х км от устья р. Ушкатты вверх по течению. 405 - хлоритизированный биотит-мусковитовый гранит Средне-Ушкаттинского массива, PZ₂. Правый берег р. Ушкатты, в 4-х км к востоку от устья оврага Имбергенсай. 251 - дайкообразная интрузия, хлоритизированный биотит-мусковитовый лейкогранит северного эндоконтакта Бутакского массива, PZ₂. В 6 км к северу от аула Бутак по дороге в пос. Новинку. 114-1 - мусковит-биотитовый гранит главной фазы Суундукского массива, PZ₃. В 5 км к юго-востоку от пос. Карабутак. 113 - мусковит-биотитовый гранит второй фазы Суундукского массива, PZ₃. В 2.2 км к юго-востоку от пос. Карабутак. 114 - жильный мусковитовый пегматоидный гранит Суундукского массива, PZ₃. Там же где обн. 114-1. 411 - мусковит-кварц-альбитовая зона пегматита микроклин-альбитового типа. Правый берег р. Кумак в 500 м вниз по течению от 3 отделения совхоза Кумакский. 250-1, 250-3 - гальки хлорит-мусковитовых плагиогранитов из раннекаменноугольных конгломератов, в 2 км к югу от пос. Новинка, северное окончание Бутакского массива. Состав слюд определен химическим методом, Li, Cs, Rb - методом пламенной фотометрии в ЦХЛ объединения "Орбургеология"; Sr - рентгенофлуоресцентным методом на установке VRA-30 в ИГиГ УрО РАН. Би - биотит, му - мусковит. $Al = Al_{100}/(Si+Ti+Al+Fe+Mn+Mg)$ (ат. Кол.); $f = Fe_{100}/(Fe+Mg)$ (ат. Кол.); $\varphi = Fe^{3+}/(Fe^{2+}+Fe^{3+})$ (ат. Кол.).

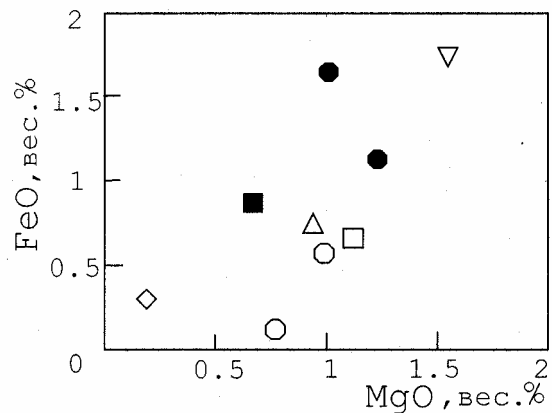


Рис. 4. Диаграмма FeO - MgO состава мусковитов. Условные обозначения те же, что на рис. 1.

Структурные особенности мусковитов.

На основании данных порошковой дифрактометрии все изученные мусковиты относятся к политипной модификации 2M₁. Мусковиты из верхнепалеозойских гранитов имеют двухслойную моноклинную кристаллическую решетку. В отличие от них мусковиты из среднепалеозойских гранитов характеризуются смешаннослойной кристаллической решеткой, в составе которой установлены слои хлорита (Таблица 3).

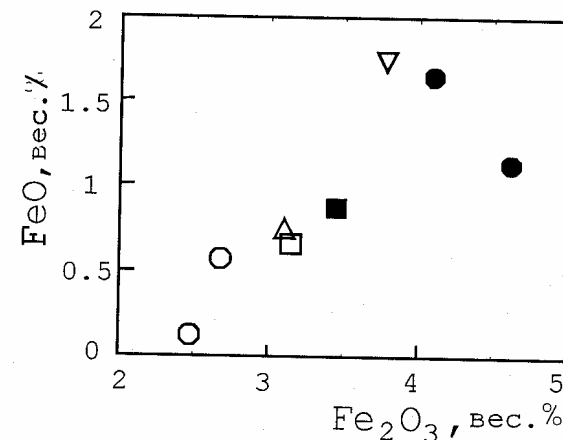


Рис. 5. Диаграмма FeO - Fe₂O₃ состава мусковитов. Условные обозначения те же, что на рис. 1.

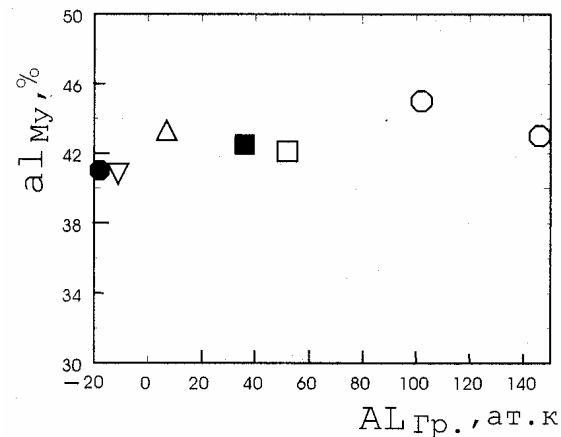


Рис. 6. Диаграмма Al_{гр} - Al_{му} зависимости глиноземистости мусковитов от глиноземистости материнских гранитов. Условные обозначения те же, что на рис. 1.

Расчитанный параметр элементарной ячейки b в мусковитах изменяется в пределах от 8.976 \AA до 9.048 \AA . В мусковитах из верхнепалеозойских гранитов (Котансинский, Нижне-Ушкаттинский и Суундукский массивы) параметр b изменяется от ранних к поздним фазам: в мусковитах из гранитов главной фазы (пр. с-49, 107, 114-1, 115, 403) параметр b равен $9.024-9.048 \text{ \AA}$, второй фазы (пр. 113) - 9.012 \AA , третьей фазы (пр. 106, 114) - $9.006-9.012 \text{ \AA}$. В пегматоидных

гранитах Суундукского массива (пр.114) установлено два разных значения для параметра b , что, вероятно, связано с развитием мусковитов, отвечающих двум стадиям перекристаллизации пород (табл. 3).

В мусковитах из среднепалеозойских лейкогранитов Бутакского массива, слабо подверженных процессам перекристаллизации, параметр b равен 9.030 \AA° (пр. 251). В мусковитах из среднепалеозойских гранитов Средне-Ушкаттинского массива, подверженных интенсивной перекристаллизации (пр. 405), значение параметра b снижается до 9.006 \AA° . Наиболее низкие значения параметра b установлены в мусковитах из пегматитов микроклин-альбитового типа (рис. 7). Прямая

зависимость размера параметра b от суммы катионов Fe^{2+} и Mg октаэдрической позиции позволяет связывать изменение значений параметра b с температурой кристаллизации мусковитов, то-есть чем выше температура кристаллизации мусковитов, тем больше значение параметра b и наоборот. Это подтверждается повышением Fe^{2+} и Mg в мусковитах с увеличением температуры их кристаллизации [16].

Таблица 3

Размер параметра элементарной ячейки b и величины d отражения (060) (в \AA°) мусковитов из гранитов и пегматитов Южного Урала

№	403	107	114-1	115	113	106	114	с-49	251	405	411
$b^\circ \pm 0.002$	9.042	9.024	9.048	9.024	9.012	9.006	9.012	9.030	9.030	9.006	8.976
d_{060}	1.507	1.504	1.508	1.504	1.502	1.501	1.502	1.505	1.505	1.501	1.496
							1.508				

Примечание. с-49 - биотит-мусковитовый гранит западного эндоконтакта Котансинского массива, PZ₃ [15]. Привязки остальных проб см. табл. 1, 2. Съёмка на параметр b проведена на ДРОН-3 в фильтрованном Си-излучении, скорость съёмки и записи $0.25^\circ/\text{мин}$. В качестве эталона взят кварц.

Геохимия слюд

Преобладающие содержания редких щелочных элементов в мусковитах из верхнепалеозойских гранитов (Суундукский, Нижне-Ушкаттинский, Карабутакский массивы) варьируют в пределах:

$\text{Li}=162-1051 \text{ г/т}$, $\text{Rb}=498-1450 \text{ г/т}$, $\text{Cs}=12,5-107 \text{ г/т}$, в биотитах - $\text{Li}=480-2254 \text{ г/т}$, $\text{Rb}=531-1115 \text{ г/т}$, $\text{Cs}=42-212 \text{ г/т}$. Наиболее высокие содержания

этих элементов установлены в мусковитах и биотитах из гранитов Нижне-Ушкаттинского массива (пр. 403) и из гранитов молибденоносных интрузий района месторождения Восток (пр. 209). Наиболее

низкие - в мусковитах из жильных пегматоидных гранитов Карабутакского массива, кристаллизовавшегося в условиях потери летучих компонентов (проба 30, табл. 3).

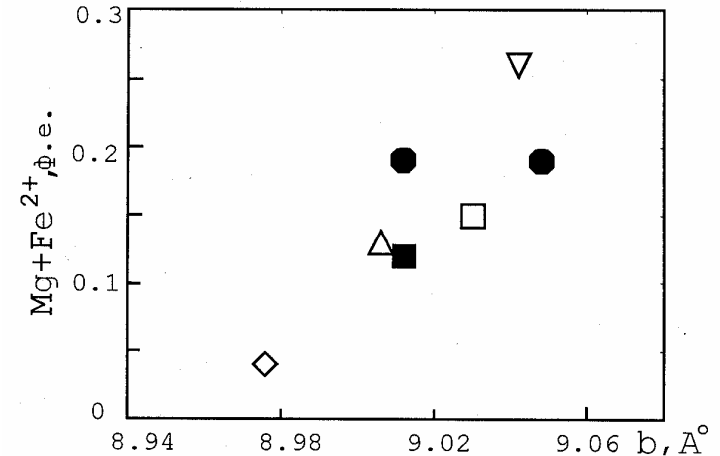


Рис. 7. Диаграмма $b - (\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$ ф. е. зависимости размера элементарной ячейки мусковитов от суммы двухвалентных катионов в октаэдрической позиции. Условные обозначения те же, что на рис. 1.

Как видно из приведенных данных при замещении биотита мусковитом в парагенезисе $\text{Кв} + \text{Пл} + \text{КПШ} + \text{Би} + \text{Му}$ в мусковитах из верхнепалеозойских гранитов (Карабутакский, Суундукский и Нижне-Ушкаттинский массивы) по сравнению с замещенным биотитом, в большинстве случаев, происходит закономерное снижение содержания рубидия в 1.3-4.9 раза и цезия в 2-4.9 раза, при этом содержание рубидия в мусковите по отношению к биотиту так же снижается в большинстве проб из гранитов главной и второй фаз (пр. 107, 115, 113 табл. 2, 3). Мусковиты и биотиты из жильных существенно мусковитовых пегматоидных гранитов характеризуются сходными содержаниями рубидия (пр. 114, табл. 2). Сопоставимые содержания рубидия установлены в мусковитах и биотитах из двуслюдяных гранитов главной фазы Суундукского и Нижне-Ушкаттинского массивов (пр. 114-1, 403). Указанные вариации в содержании рубидия в мусковитах, вероятно, связаны с изменением кислотности-щелочности летучих компонентов при кристаллизации гранитов. Это косвенно подтверждается отрицательной

корреляцией между K/Rb отношениями и содержанием рубидия в изученных мусковитах, то-есть чем больше K/Rb отношение в мусковите тем при более высокой кислотности происходит его кристаллизация [7]. В отличие от лития и цезия содержание стронция в мусковите по сравнению с его содержанием в биотите возрастает в 2-3 раза (табл. 2).

87

В мусковитах и биотитах, в том числе хлоритизированных, из среднепалеозойских гранитов (Средне-Ушкатинский и Бутакский массивы) содержание редких щелочных элементов по сравнению с верхнепалеозойскими гранитами существенно снижается и составляет: в мусковите - Li=13-439 г/т, Rb=218-691 г/т, Cs=13.2-62 г/т; в биотите - Li=131-251 г/т, Rb=55-199 г/т, Cs=7.2-16 г/т (табл. 2, 3). Снижение содержания редких щелочных элементов в слюдах данных гранитоидов скорее всего связано с их перекристаллизацией (хлоритизацией биотита, серицитизацией плагиоклаза и т.д.). При хлоритизации биотита, в последнем происходит вынос всех редких щелочей, но наиболее интенсивно происходит вынос рубидия (табл. 4). Большая часть вынесенных из биотита редких щелочных элементов, вероятно, входит в состав новообразованного мусковита (пр. 404, 211, табл. 4). Наиболее высокие концентрации редких щелочных элементов установлены в мусковитах из гранитов Средне-Ушкатинского массива, наиболее низкие - в мусковитах из гальки лейкоплагиогранита Бутакского (табл. 2, 3). По сравнению с хлоритизированными биотитами и хлоритами в сосуществующих мусковитах из среднепалеозойских гранитов увеличивается в 2-8 раз содержание цезия и в 8-10 раз рубидия, что подтверждает давно установленную связь этих элементов с калием. В отличие от рубидия и цезия между хлоритизированным биотитом и вновь образованным мусковитом закономерного увеличения лития в мусковите по сравнению с хлоритизированным биотитом не наблюдается (табл. 4). Концентрации стронция в мусковите по сравнению с биотитом увеличиваются в 2 раза (табл. 2).

Таблица 4

Содержание Li, Rb, Cs, Sr (г/т) в сосуществующих биотитах и мусковитах из гранитов Южного Урала

Минер.	Биотиты				Мусковиты			
	Li	Cs	Rb	Sr	Li	Cs	Rb	Sr
30	480	42	1020		12	15	498	
106					443	27	860	90
114	1552	95	852		729	39.6	988	67
107	967	93	913	н.об	306	38	648	93

115	794	46.5	1100	9	162	13.7	610	
211	251	7.2	69		439	62	691	
404	188	7.6	55		71	13.2	431	
209	2067	132	1507		1130	175	2390	
c129/182			531	47			1450	88
813							251	85

Примечание: Места взятия проб гранитов см. табл. 1.

88

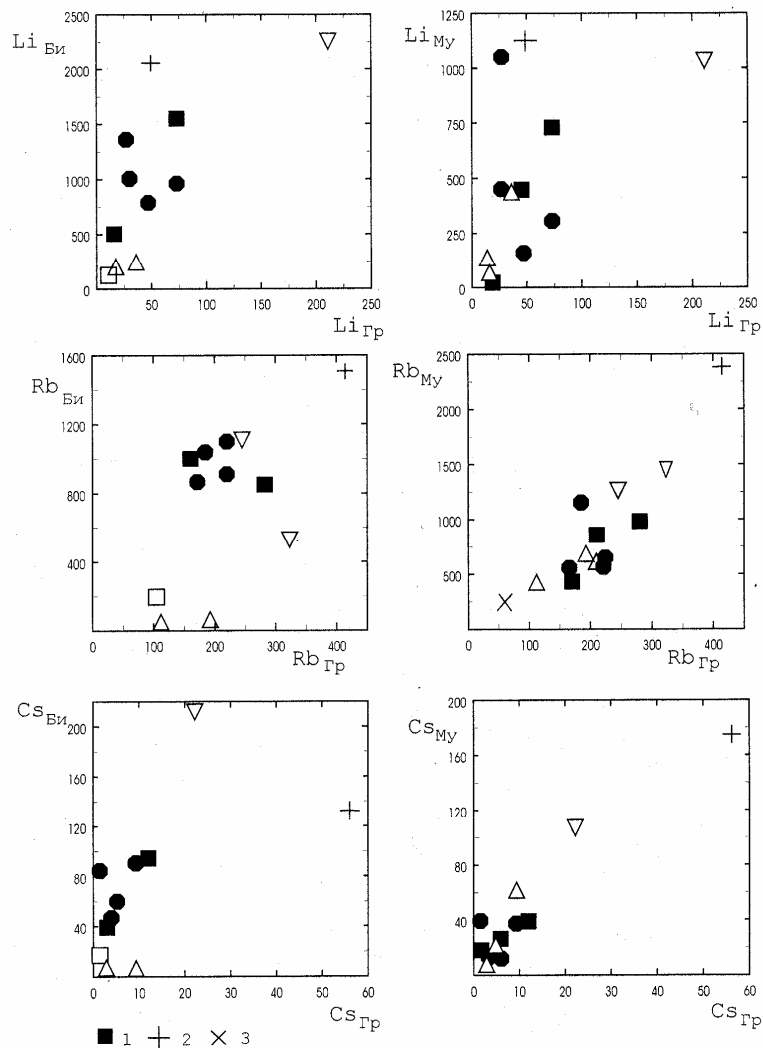


Рис. 8. Диаграммы зависимости распределения Li, Rb, Cs в биотитах и мусковитах от содержания Li, Rb, Cs в материнских гранитах.

Слюды: 1 - из жильных пегматоидных гранитов Суундукского и Карабутакского массивов, PZ₃; 2 - из гранитов самостоятельных малых интрузий молибденового м-я Восток, PZ₃; 3 - из гранито-гнейсов Милисайского массива, PZ_{2,3}. Остальные условные обозначения те же, что на рис. 1.

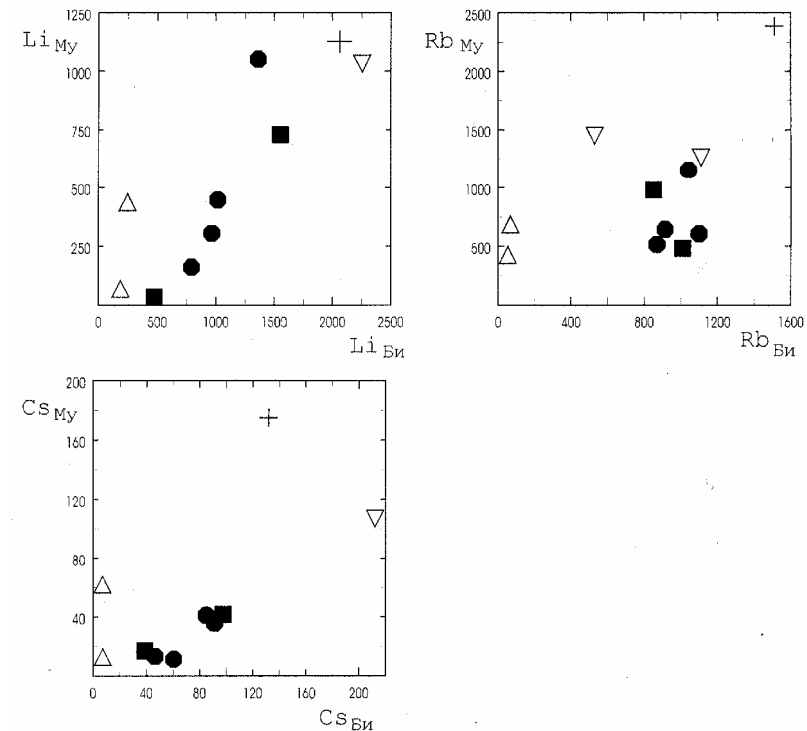


Рис. 9. Диаграммы зависимости распределения Li, Rb, Cs между мусковитом и сосуществующим биотитом из гранитов. Условные обозначения те же, что на рис. 1, 8.

Содержание лития в мусковитах и биотитах слабо коррелирует с содержанием этого элемента в материнских гранитах (рис. 8). В то время как его содержание в мусковите имеет прямую корреляционную связь с содержанием лития в сосуществующем (замещаемом) биотите и прямо зависит от степени заполнения октаэдрических позиций в мусковите железо-магнезиальными компонентами [7]. Содержания рубидия и цезия в мусковите наоборот отчетливо зависят от валового содержания этих элементов в граните (рис. 8). В то время как прямая корреляционная связь между концентрациями рубидия в сосуществующих мусковитах и биотитах слабо выражена. Для цезия она выражена более отчетливо (рис. 9). Сложность распределения редких щелочных элементов между биотитом и мусковитом в гранитах, по-

тому, определяется длительностью и неодноактностью процесса перекристаллизации гранитов.

90

Выводы

1. Мусковиты из гранитов Южного Урала относятся к алюмосиладонитовому виду диоктаэдрических слюд. В верхнепалеозойских батолитовых массивах мусковит развивается по биотиту в постмагматический этап перекристаллизации материнских гранитов, кристаллизовавшихся в условиях слабо проницаемой кровли. Для среднепалеозойских гранитов характерно площадное развитие мусковита. Кристаллизация его связана с процессами катаклаза и перекристаллизации гранитов (хлоритизация и мусковитизация биотита, серицитизация плагиоклаза и т.д.) в условиях близких к зеленосланцевой фации. Мусковиты относятся к постмагматической стадии кристаллизации гранитоидных пород. Предположение [1] о магматическом происхождении мусковита в двуслюдяных и мусковитовых гранитах Урала нами не подтверждается.

2. Все мусковиты представлены политипной модификацией $2M_1$. В верхнепалеозойских гранитах они имеют двухслойную моноклинную кристаллографическую решетку. В среднепалеозойских - характеризуются смешаннослойной кристаллической решеткой в составе которой установлены слои хлорита. Рассчитанный параметр элементарной ячейки b в мусковитах изменяется в пределах от 8.976 \AA до 9.048 \AA . Увеличение параметра b связано с повышением температуры кристаллизации мусковитов.

3. Глиноземистость изученных мусковитов, кристаллизовавшихся в постмагматическую стадию кристаллизации гранитов, не зависит от глиноземистости материнских пород. При замещении биотита мусковитом подтверждена установленная ранее [8, 17, 23 и др.] прямая зависимость между $TiO_2 - MgO$, $FeO - MgO$, $FeO - Fe_2O_3$, параметром элементарной ячейки $b - (Mg+Fe^{2+})$. При замещении биотита мусковитом в последнем существенно возрастает глиноземистость и степень окисленности железа, менее - железистость.

4. В мусковитах от верхнепалеозойских к среднепалеозойским гранитам установлено закономерное снижение концентраций Li, Cs, Rb, связанное с различными условиями их кристаллизации. При замещении биотита мусковитом в верхнепалеозойских гранитах в мусковите по сравнению с биотитом происходит снижение содержаний Li, Cs, Rb. При замещении биотита мусковитом в среднепалеозойских гранитах наоборот в мусковите по сравнению с биотитом происходит увеличение концентраций Li, Cs, Rb, что безусловно связано с выносом редких щелочных элементов при хлоритизации биотита. Окончательное равновесие при распределении Li, Cs, Rb между биотитом и

мусковитом в гранитах наступило в постмагматический этап их кристаллизации [3]. Предполагается многоэтапность этого процесса.

91

5. Кристаллизация мусковита в верхнепалеозойских и среднепалеозойских гранитах происходила в условиях повышающейся кислотности, что подтверждается высокими значениями в мусковитах отношений K/Rb [7]. По сравнению с мусковитами из верхнепалеозойских гранитов ($K/Rb=71.5-144.6$) более высокие K/Rb отношения в мусковитах из среднепалеозойских гранитов ($K/Rb=137.5-323.8$) позволяют говорить о более высокой окислительной обстановке при их кристаллизации. Это так же подтверждается более высокой степенью окисленности железа в мусковитах среднепалеозойских гранитов. В отличие от гранитов низкое отношение $K/Rb=4$ в мусковитах из пегматитов микроклин-альбитового типа говорит о кристаллизации их в условиях парагенезисов относительно высокой щелочности.

Литература

1. **Бородина Н.С., Ферштатер Г.Б.** Состав и природа мусковита из гранитов //Записки ВМО, 1988, ч. 117, вып. 2. С. 137-144.
2. **Бушляков И.Н.** Содержание титана в амфиболах и биотитах из гранитоидов как показатель условий их формирования //Доклады АН СССР, 1969. Т. 186. №4. С. 924-927.
3. **Грабежев А.И.** О равновесном распределении микроэлементов между минералами гранитов и временем установления равновесия //Геохимия, 1981. №3. С. 449-459.
4. **Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Дж.** Породообразующие минералы. Т. 3. М.: Мир, 1966, 317 с.
5. **Жариков В.А., Иванов И.П., Фонарев В.И., Дюжикова Т.Н., Шмонов В.М.** Минеральные равновесия в системе $K_2O - Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O$ //VIII Всес. совещ. по эксперим. и технич. минералогии и петрографии. Тезисы. Новосибирск. 1968. С. 3-4.
6. **Иванов В.С.** О влиянии температуры и химической активности калия на состав биотита в гранитоидах (на примере Западно- и Восточно-Иультинского интрузивов Центральной Чукотки) //Изв. АН СССР. Сер. геолог. 1970. №7. С. 20-30.
7. **Коваль П.В., Юрченко С.А., Николаева Д.Х.** Парагенетические типы мусковитов из алогранитов Забайкалья //Записки ВМО, 1970, ч. 99, вып. 4, с. 432-441.
8. **Коренбаум С.А.** Типоморфизм слюд магматических пород. М.: Наука, 1987. 144 с.

9. **Маракушев А.А., Тарарин И.А.** О минералогических критериях щелочности гранитоидов //Изв. АН СССР. Сер. геолог. 1965, №3. С. 20-27.

92

10. **Номенклатура** слюд //Записки ВМО, 1998, ч. 127, № 5, с. 55-65.

11. **Попов А.А.** К геохимии мусковита //Физико-хим. проблемы гидротермальных и магматических процессов. М.: Наука, 1975. С. 237-253.

12. **Русинова О.В., Русинов В.Л.** Вариации состава, политипия и условия образования диоктаэдрических калиевых слюд //Метасоматизм минер. и вопросы генезиса золотых и серебряных м-й в вулкан. толщах. М.: Наука, 1986. С. 41-59.

13. **Самаркин Г.И., Самаркина Е.Я.** Биотиты в гранитоидах Главного гранитного пояса Южного Урала //Геохимия, 1973, №8. С. 1189-1195.

14. **Самаркин Г.И., Самаркина Е.Я.** Гранитоиды Южного Урала. М.: Наука, 1988. 209 с.

15. **Самаркин Г.И., Самаркина Е.Я.** Статистический анализ химического состава гранитоидов Южного Урала //М., ВИНТИ, 1990, №6280-90. 244с.

16. **Сизых А.И.** Эволюция состава мусковитов докембрийских комплексов Бирюсинского метаморфического пояса //Материалы 4-го Всес. минерал. семинара. Душамбе, 1986. С. 290-292.

17. **Сырицо Л.Ф., Залашкова Н.Е., Зорина М.Л., Соколова Е.П.** Слюды метасоматически измененных гранитов кислого ряда //Записки ВМО. Ч. 99, вып. 3. 1970. С. 261-276.

18. **Ферштатер Г.Б., Бушляков И.Н., Бородин Н.С.** Распределение петрогенных элементов между сосуществующими биотитами и роговыми обманками гранитоидов Урала //Геохимия, 1970, №9. С. 1066-1076.

19. **Althaus E., Karotke K., Nitsch K.H., Winkler H.G.F.** An experimental Re-examination of the upper stability limit of muscovite plus quartz //Neues Jahrbuch fur Mineralogie Monatshefte, 1970, N7. P. 321-336.

20. **Monler G., Mergoil-Daniel I, Labernardiere H.** Generations successives de muscovites et feldspaths potassiques dans les leucogranites du massif de Millevaches (Massif Central francais) //Bull. miner., 1984, 107, N1. P. 55-68.

21. **Garcia D., Fonteilles M.** Evolution du chimiste des biotites et des muscovites dans une serie de granitoides (Nord Portugal); implications

petrologiques et metallogeniques //C.r. Acad. sci, 1985, ser. 2, 301, N11. P. 819-822.

22. **Price R.** Geochemistry of a peraluminous granitoid suite from North-Eastern Victoria, South-Eastern Australia // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1983,v. 47, N1. P. 31-42.

93

23. **Schleicher H., Lippot H. J.** Magmatic muscovite in felsitic parts of rhyolites from southwest Germany // Contr. Mineral. Petrol, 1981, V. 78, N3. P. 220-224.

24. **Yoder H.S., Eugster H. P.** Synthetic and natural muscovites //Geochim. et Cosmochim. Acta, 1955, 8, N5-6. P.