

И. С. СЕДОВА, В. А. ГАЛИБИН

**ГЕОХИМИЧЕСКАЯ НАПРАВЛЕННОСТЬ ПРОЦЕССОВ
ГРАНИТИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ РАЗНОЙ ЩЕЛОЧНОСТИ
(ВИТИМО-ОЛЕКМИНСКОЕ НАГОРЬЕ)**

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 28 VI 1972)

Целью настоящего сообщения является установление закономерностей поведения главных и малых элементов (Ni, V, Co, Cu, Ba, Be, Sc, Nb, Y, La, Pb, Ga) при гранитизации толщи кристаллических сланцев основного состава в условиях разной щелочности. Объектом исследований выбраны в различной степени гранитизированные сланцы яблоновой серии, развитые по среднему течению Витима и в низовьях Калара и принадлежащие соответственно к двум толщам, метаморфизованным в условиях амфиболитовой фации в верхнем архее (¹). Верхняя толща характеризуется переслаиванием биотит-амфибол-плагиоклазовых (с высоким содержанием К, табл. 1) и биотит-плагиоклазовых сланцев с небольшим количеством ам-

Таблица 1

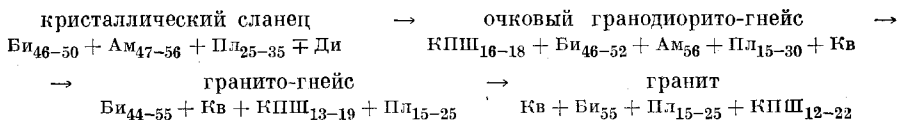
Средние химические составы пород серий гранитизации 1 и 2
(вес. %)

Оксид	Гранитизация 1			Гранитизация 2	
	кристаллич. (n=4)	гранодиорито-гнейс (n=4)	гранито-гнейс (n=8)	кристаллич. сланец (n=7)	сиенито-диорито-гнейс (n=3)
SiO ₂	49,75	56,37	69,37	50,22	60,98
TiO ₂	1,89	0,82	0,47	1,67	0,87
Al ₂ O ₃	17,40	16,39	14,93	17,41	17,72
Fe ₂ O ₃	3,82	2,93	1,09	2,81	1,84
FeO	5,63	5,23	1,82	5,41	2,70
MnO	0,12	0,14	0,02	0,12	0,07
MgO	5,06	3,33	0,52	5,98	1,91
CaO	6,48	6,24	1,74	6,62	3,28
Na ₂ O	4,33	4,28	4,15	4,05	4,85
K ₂ O	3,02	3,22	4,69	2,99	4,49
H ₂ O	0,14	0,16	0,08	0,16	0,03
П.п.п.	2,26	1,06	0,96	1,75	0,70

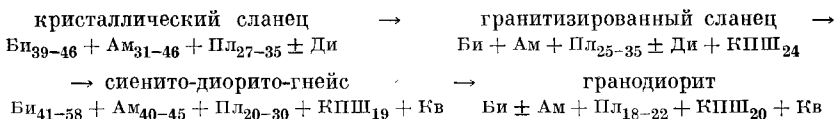
Примечание. Анализы выполнены в химической лаборатории Института геологии и геохронологии докембрия АН СССР.

фиболитов и амфиболовых гнейсов. Нижняя толща аналогичных биотит-амфибол-плагиоклазовых сланцев (табл. 1) содержит прослои мраморов и амфиболитов, в том числе ортоамфиболитов. Гранитизация в верхней толще приводит только к возникновению биотитовых гранито-гнейсов и гранитов (гранитизация 1), тогда как в нижней толще образуются в это же время амфиболсодержащие граниты и граносиениты. Вслед за гранитизацией 1 вдоль линейной зоны субмеридионального простирания в нижней толще проявлена гранитизация 2, приводящая к формированию амфибол-биотитовых кварцевых сиенито-диорито-гнейсов и гранодиоритов (гранитизация 2). Обе гранитизации разделены внедрением даек основных — средних пород, превращенных в ортосланцы и сиенито-диорито-гнейсы под влиянием гранитизации 2. В связи с тем, что процессы гранитизации 1 в нижней толще затушеваны проявлением гранитизации 2, оба процесса изучались раздельно по этим толщам. Детальные исследования позволили выявить определенную последовательность формирования разновидностей пород (серии гранитизации) при ультраметаморфизме и установить смену минеральных ассоциаций.

Для гранитизации 1



Для гранитизации 2



Очковые гранодиорито-гнейсы (гранитизация 1) фиксируют определенный этап гранитизации кристаллических сланцев при появлении в них порфиробласт КПШ и скоплений КПШ+Кв с полной перекристаллизацией Би, Ам, Пл. Переход к ним осуществляется через фельдшпатизированные сланцы, сохраняющие еще нематобластовые структуры. Граниты, как конечные члены серий, слагающие небольшие тела и участки среди полей гранито-гнейсов, в отличие от них, имеют однородное строение, массивные или автономные тектуры течения, гицидиоморфные структуры, секущие контакты с гранито-гнейсами или постепенные переходы. Подобные соотношения характерны также для гранодиоритов и сиенито-диорито-гнейсов (гранитизация 2) и рассматриваются как свидетельство некоторой мобильности гранитоидного расплава на заключительных этапах ультраметаморфизма, тогда как гранито- и сиенито-диорито-гнейсы являются автохтонными образованиями (1).

Формирование ассоциаций КПШ+Би при гранитизации 1 и КПШ+Ам при гранитизации 2 свидетельствует, согласно (2, 3), о более высокой щелочности гранитизирующих растворов для второго процесса. Установленные более низкие значения K_{Al} биотитов и амфиболов (табл. 2), образующихся при гранитизации 2, по сравнению с 1, также подтверждают это положение (4, 4).

По указанным сериям гранитизации отбирались пробы пород весом 0,5–2 кг, из которых после дробления и квартования выделялись мономинеральные фракции. Для гранитизации 2 в связи с большими вариациями составов промежуточных гранитизированных сланцев пробы отбирались из начальных и конечных членов серии, причем использовались сланцы, не подвергшиеся гранитизации 1. Направленность изменения содержания элементов одинакова при гранитизации 1 и 2 (табл. 1, 3 и 4). При обоих типах процессов фиксируется одинаковое относительное из-

Таблица 2
Средние значения параметров состава амфиболов и биотитов

Группа пород	Биотиты								Амфиболы							
	n	Ti	Al _{IV}	Al _{VI}	Fe ²⁺	Mg	f ₀	K _{Al}	n	Ti	Al _{IV}	Al _{VI}	F	mg	f ₀	K _{Al}
		формульные единицы						%		формульные единицы			%			

Гранитизация 1

Кристаллический сланец	11	0,15	1,22	0,14	0,99	1,50	18	20	5	0,16	1,70	0,08	48	47	38	14
Гранодиорито-гнейсы	3	0,15	1,19	0,22	1,11	1,32	14	21	2	0,14	1,84	0,29	57	42	28	17
Гранито-гнейсы	5	0,17	1,17	0,08	1,10	1,43	18	19		Отсутствует						

Гранитизация 2

Кристаллический сланец	5	0,18	1,20	0,06	1,04	1,53	17	19	4	0,15	1,52	0,12	45	54	42	13
Сиенито-диорито-гнейсы	4	0,16	1,17	0,02	1,01	1,56	18	18	3	0,14	1,24	0,11	43	56	35	11

Таблица 3

Средние содержания малых элементов (г/т)

Тип гранити- зации	Группа пород	Валовые пробы (А), биотиты (Б) и амфиболы (В)														
		n	Ba	Be	Sc	Nb	Zr	V	La	Co	Ni	Cr	V	Cu	Pb	Ga
1	Кристаллические сланцы	9	1100	3,1	18	49	272	37	14	37	41	53	139	17	18	Не опр.
	Гранодиорито-гнейсы	9	2022	2,9	15	44	241	29	77	17	21	15	100	43	41	» »
	Гранито-гнейсы	9	1345	2,6	5	33	212	17	72	1	8	8	43	12	46	» »
2	Кристаллические сланцы	11	1400	2,3	11	14	270	14	73	20	44	40	164	9	14	9
	Сиеенито-диорито-гнейсы	9	1950	3,1	8	23	397	18	125	11	21	32	84	13	11	13
	Гранодиориты	5	2320	2,7	6	19	448	13	94	7	15	21	62	13	21	13
1	Кристаллические сланцы	9	1300	Не опр.	5	33	49	Не опр.	49	106	128	228	9	Не опр.	Не опр.	
	Грано-диорито-гнейсы	9	1100	» »	15	46	37	» »	49	42	68	222	14	» »	» »	
	Гранито-гнейсы	7	700	» »	14	66	112	» »	44	33	36	125	11	» »	» »	
2	Кристаллические сланцы	12	Не опр.	» »	8	Не опр.	46	» »	104	211	137	383	26	Не опр.	» »	10
	Сиеенито-диорито-гнейсы	9	» »	» »	10	» »	78	» »	88	131	99	292	38	» »	» »	11
	Гранодиориты	5	» »	» »	19	» »	104	» »	50	114	66	292	17	» »	» »	14
1	Кристаллические сланцы	7	» »	» »	56	50	77	» »	56	59	133	342	13	Не опр.	» »	
	Гранодиорито-гнейсы	5	» »	» »	61	64	45	» »	60	46	130	326	8	» »	» »	
	Гранодиориты	2	» »	» »	46	» »	220	82	1100	75	145	70	340	12	» »	15
2	Кристаллические сланцы	10	Не опр.	10	52	Не опр.	183	52	379	73	143	115	524	12	Не опр.	15
	Сиеенито-диорито-гнейсы	4	» »	13	36	» »	102	44	383	68	90	98	440	6	» »	10
	Гранодиориты	2	» »	11	46	» »	220	82	1100	75	145	70	340	12	» »	15

Тип гранити- зации	Группа пород	Магнетиты								Плагиоклазы				К-полевые шпаты						
		n	Ni	Cr	V	Mn	Ti	Co	Cu	Ga	n	CaO	TiO ₂	Sr	Ba	n	CaO	LiO ₂	Sr	Ba
1	Кристаллические сланцы	4	94	98	475	2400	7500		Не опр.	8	53400	1400	1600	1300		Нет К-полевого шпата				
	Гранодиорито-гнейсы									2	53100	700	1400	500	8	5800	700	4800	7200	
	Гранито-гнейсы	5	104	170	520	2100	4400		» »	7	35000	1100	1000	400	9	3700	200	1200	3500	
2	Граниты		125	150	550	2200	9000		» »	2	35000	2600	1300	1200	5	2900	400	700	2500	
	Кристаллические сланцы	7	226	260	2042	1200	2640	114	34	18	7	52500	400	3500	500		Нет К-полевого шпата			
	Сиеенито-диорито-гнейсы	8	286	209	1887	1700	2520	136	97	22	5	46900	400	2500	400	8	5200	300	1300	7400
	Гранодиориты	5	288	392	1640	1500	3200	128	139	19	6	35600	500	3500	400	4	4800	300	1200	5800

Примечание. Анализы выполнены В. А. Галибиным количественно-спектральным методом в Институте земной коры при Ленинградском университете.

Сравнительная характеристика поведения элементов при гранитизации

	От начальных членов серий к конечным		В сиенито-диорито-гнейсах по сравнению с гранито-гнейсами	В кристаллических сланцах нижней толщии по сравнению с верхней
	при гранитизации 1	при гранитизации 2		
В породах	+SiKРb — VScCu — TiAlFe ³⁺ Fe ³⁺ MgMnCa п.п. CoNi	+SiKNaPbZrLaNb — TiFe ³⁺ Fe ³⁺ MgCa п.п. CoCrV	+CaMgTiScZrCoNiCrV — SiNbPb	+MgLaPb — Fe ³⁺ BeScNbYCo
В биотитах	+Fe ³⁺ NbZrSc +Al _{VI} Al _{VI} K _{Al} MgNiVBa	+ZrSc — Al _{IV} Al _{VI} K _{Al} CoNiVCr	+Mg(K+Na)/AlCoNiV — Al _{VI} K _{Al}	+TiCoVSc — Al _{VI} K _{Al} Fe ³⁺
В амфиболах	— Al _{IV} Al _{VI} K _{Al} Fe ³⁺ — Mgfo	+ MnCuCa — Ti		+ ¹⁰ Al _{IV} CoVZr — Al _{IV} K _{Al} Mn
В магнетитах	— Ti	— SrCa		+CrNiVTi — Mn
В КППШ	— Ba			+Sr — Ti
В плагиоклазах	— SrCa			

Примечание. Знак «плюс» указывает на значимое увеличение содержания элемента или параметра состава, проверенное по X-критерию Ван дер Вардена, знак «минус» — на значимое уменьшение. Значимость различий не проверена для главных элементов амфиболов из-за недостатка анализов. В гранодиоритах по сравнению с гранитами в КППШ +CaTiBa.

мешение содержания К в конечных продуктах по отношению к исходным, тогда как изменения количества Ca, Mg, Fe, Si, Ti и Na при гранитизации 2 менее значительны, чем при гранитизации 1. Сиенито-диорито-гнейсы (и их темноцветные минералы), в отличие от гранито-гнейсов, содержат больше элементов группы Fe, их плагиоклазы богаче Ca и Sr, а К-полевой шпат — Ba (табл. 3). Для толщии сланцев, послуживших субстратом для гранитизации 1 и 2, различия намечаются по Mg и Fe и по ряду малых элементов, существенны отличия составов минералов этих групп (табл. 4): биотиты, амфиболы и магнетиты нижней толщии обогащены Ni, Cr, V, Co, плагиоклазы — Sr, что связано с их разной формационной принадлежностью.

В целом различия в составе конечных продуктов гранитизации 2 и 1 более существенны, чем для исходных, тогда как различия в составе минералов, главным образом в отношении малых элементов, более значительны для исходных членов серий, чем для конечных, где они для некоторых элементов нивелируются, для других сохраняются и усиливаются. К числу первых относится Sc в биотитах, Cr, Ti, Mn в магнетитах; к числу вторых — Co, V, Ni в темноцветных минералах, Ba, Sr, Ca — в полевых шпатах; содержание их, как правило, выше в минералах гранитоидных пород повышенной щелочности, что согласуется с их более значительной основностью. Итак, конечным членам серий гранитизации определенной щелочности и их минералам отвечает определенный уровень содержания в них редких элементов, обусловленный составом исходных пород и связанной с ними щелочностью гранитизирующих растворов.

Поступило
26 VI 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Н. Неелов, И. С. Седова, Сборн. Эволюция вещества при ультраметаморфизме, «Наука», 1972. ² Д. С. Коржинский, Геохимия, № 7 (1956). ³ Д. С. Коржинский, Сборн. Проблема 14. Гранито-гнейсы, Киев, 1960. ⁴ А. А. Маракушев, И. А. Тарарин, Изв. АН СССР, сер. геол., № 3 (1965).