Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXIV, вып. 2, 1974 г.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И МИГРАЦИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОДАХ ЧУПИНСКОГО РАЙОНА (Северная Карелия)

Г. М. Арутюнов

Многолетними поисково-разведочными работами в Кольско-Карельском регионе установлена приуроченность слюдоносных пегматитов к глиноземистым гнейсам, теоретически обоснованная Г. И. Бунтиным, Д. С. Коржинским, В. Д. Никитиным.

В Северной Карелии глиноземистые гнейсы образуют чупинскую продуктивную свиту. К верхам и средней части ее разреза приурочены все известные промышленные месторождения слюдоносных пегматитов.

При детальном картировании продуктивной свиты автором изучались глиноземистые гнейсы и аплитовидные породы, развитые на площадях слюдоносных пегматитов и за их пределами, исследовалось поведение микроэлементов в породообразующих минералах вмещающих пород, подвергшихся воздействию как регионального метаморфизма и ультраметаморфизма, так и этапов формирования слюдоносных пегматитов.

В статье рассмотрены глиноземистые породы, представленные дистен-гранат-биотитовыми гнейсами, часто содержащими мусковит. С ними тесно связаны проявления аплитовидных пород. Повсеместно устанавливается неоднородность гнейсов и аплитовидных пород по зернистости и текстуре. По крупности зерен вмещающие породы разделяются на четыре главные группы: тонко- (*до* 0,5 *мм*), мелко- (0,5—1,0 *мм*), средне- (1,0—3,0 *мм*) и крупнозернистые — грубочешуйчатые (более 3 *мм* в поперечнике). Часто встречаются переходные разности, поэтому рассмотрены две объединенные группы пород — тонкомелкозернистые и среднекрупнозернистые.

Из указанных групп гнейсов, а также аплитовидных пород отобрано более 800 мономинеральных проб из биотита, граната, дистена, полевых шпатов, кварца и мусковита. Параллельно отобрано более 600 проб биотита, мусковита и полевых шпатов (микроклина и плагиоклаза) из промышленно-слюдоносных и бесслюдных пегматитов. Пробы отбирались точечными сколами из коренного не затронутого выветриванием материала с использованием естественных обнажений, канав, буровых скважин и подземных горных выработок. Пробы отбирались по профилям, пересекающим наиболее известные месторождения пегматитов. Расстояние между точками отбора проб 10—25 *м*, а в околожильных

зонах — до 0,5 *м*. По каждой пробе весом 0,5—1,0 *кг* изготовляли шлифы и давали петрографические определения.

Большинство элементов определены аналитически полуколичественным спектральным методом, Li_2O и Rb_2O — количественно методом пламенной фотометрии. Обогащение и отбор мономинеральных проб произведены дроблением штуфных проб до 1 *мм*, фракционированием раздробленного материала с помощью сит 0,5 и 0,25 *мм* с последующим разделением минералов в тяжелых жидкостях и на электромагните. Отобранный материал окончательно сортировали под бинокуляром.

Считают [5], что тонкомелкозернистые разности гнейсов являются результатом нормального (регионального) метаморфизма первичноосадочных отложений в условиях амфиболитовой фации метаморфизма. Последующее укрупнение зернистости, сопровождаемое их мигматизацией (аплитизацией), происходит в условиях ультраметаморфизма. Из трех стадий, характерных для этого периода (перекристаллизация и селективное плавление; высокотемпературный метасоматоз; низкотемпературное минералообразование), только стадия высокотемпературного метасоматоза вызывает в глиноземистых гнейсах изменение минерального состава, аналогичное изменениям в зонах слюдоносных пегматитов. При этом идет замещение дистена мусковитом, граната биотитом и кварцем с переходом гнейсов в двуслюдяные.

Рассмотрим в этой связи характер накопления и миграции микроэлементов, сопровождающий процессы регионального метаморфизма и ультраметаморфизма.

Миграция элементов в приведенной таблице определена как разность между сравниваемыми средневзвешенными содержаниями одного типа породы, характеризующая определенную геологическую обстановку. Так, например, средневзвешенное содержание Ba в среднекрупнозернистых дистен-гранат-биотитовых гнейсах нерудного участка на 24,2% меньше аналогичных пород тонкомелкозернистой структуры, что свидетельствует о выносе этого элемента из породы. Увеличение же содержания Mn в среднекрупнозернистых гнейсах нерудного участка на 57,8%, по сравнению с тонкомелкозернистыми гнейсами того же участка, свидетельствует о его привносе. Таким образом, с возрастанием степени метаморфизма снижается обмен элементов между породами, одновременно обогащаются или обедняются как гнейсы, так и аплитовидные породы. В породы привносятся Be, Ti, Mn, Ni, Mo, Ce, Y. Выносятся из породы Ba, Pb, Cr, Ga, V, Zn, Sr, Yb. Обмен между породами осуществляется элементами La, Cu, Zr, Co, Sc.

При каких же условиях среды происходила миграция элементов? Как видно из рис. 1, наименьшая щелочность свойственна среде в условиях ультраметаморфизма. При этом домигматитовая стадия (тонкомелкозернистые породы) характеризовалась меньшей кислотностью, чем последующие стадии перекристаллизации (среднекрупнозернистые породы), при которых содержание Rb_2O изменяется незначительно, но резко возрастает количество Li_2O.

Определяющими вопросами проблемы пегматитов остаются — источник пегматитового материала и механизм формирования пегматитовых жил. Источником пегматитового материала считают или сами метаморфические породы во время гранитизации [5], или интрузивные — с последующей перекристаллизацией мелкозернистых гранитных пород под воздействием многократно поступавших постмагматических растворов [1, 3, 4]. Большинство исследователей склонно считать вмещающие поро-

Средневзвешенные содержания микроэлементов, %

Элемент	В породах нерудного участка		Разность	В тонкомелкозернистых породах участков		Разность	В породах рудного участка		Разность
	тонкомелкозернистых	среднекрупнозернистых		нерудного	рудного		тонкомелкозернистых	среднекрупнозернистых	
				В дистен-гранат-биотитовых гнейсах					
Ba	$215{,}0 \cdot 10^{-4}$	$167{,}0 \cdot 10^{-4}$	−24,2	$215{,}0 \cdot 10^{-4}$	$184{,}0 \cdot 10^{-4}$	−14,8	$184{,}0 \cdot 10^{-4}$	$199{,}0 \cdot 10^{-4}$	+8,1
Be	1,6	3,8	+72,7	1,64	1,96	+20,0	2	2,2	+30,6
Ti	3290,0	4880,0	+48,4	3290,0	2550,0	−22,5	2550,0	2815,0	+10,8
Mn	398,0	628,0	+57,8	398,0	367,0	−8,0	367,0	436,0	+19,3
Pb	12,5	9,6	−23,2	12,5	6,0	−52,0	6,0	10,0	+61,6
Cr	61,9	45,8	−26,0	61,9	58,8	−5,0	58,8	54,0	−8,2
Ga	23,3	19,0	−18,4	23,3	22,7	−2,5	22,7	26,8	+18,0
Ni	20,9	24,5	+17,3	20,9	14,0	−33,6	14,0	14,7	+5,0
Mo	0,4	1,2	+197,0	0,4	0,4	+5,0	0,4	0,6	+35,7
V	126,5	50,0	−60,7	126,5	71,6	−43,4	71,6	80,6	+11,8
Ce	33,7	106,5	+214,0	33,7	10,9	−67,8	10,9	12,8	+17,4
La	16,2	40,7	+152,0	16,2	6,0	−63,3	6,0	8,8	+46,7
Cu	5,6	2,9	−47,7	5,6	4,9	−12,5	4,9	5,6	−11,8
Y	6,2	22,7	+265,0	6,2	4,9	−21,0	4,9	1,7	−65,3
Zn	3,8	2,6	−34,2	3,8	2,7	−27,8	2,7	1,7	−37,2
Zr	19,3	8,7	−55,0	19,3	15,8	−18,1	15,8	20,0	+89,7
Co	4,9	94,7	−4,3	4,9	4,3	−11,3	4,3	4,1	−6,2
Sr	240,0	6,7	−55,2	240,0	130,0	−45,8	130,0	238,0	+83,0
Sc	4,2	6,92	+65,6	4,2	3,7	−8,4	3,8	3,5	−9,2
Yb	0,8	0,52	−33,4	0,8	0,8	−7,1	0,7	0,3	−52,0

Продолжение таблицы

Элемент	В породах нерудного участка		Разность	В тонкомелкозернистых породах участков		Раёность	В породах рудного участка		Разность
	тонкомелкозернистых	среднекрупнозернистых		нерудного	рудного		тонкомелкозернистых	среднекрупнозернистых	
				В аплитовидных породах					
Ba	$231 \cdot 10^{-4}$	$197 \cdot 10^{-4}$	—14,3	$231 \cdot 10^{-4}$	$259 \cdot 10^{-4}$	+12,2	$259 \cdot 10^{-4}$	$225 \cdot 10^{-4}$	—13,1
Be	2,1	3,4	+63,0	2,1	2,4	+13,8	2,4	0,6	—75,0
Ti	732	798	+18,5	732	856	+16,9	856	973	+13,4
Mn	89	484	+44,5	89	99,2	+12,5	99,2	112	+23,0
Pb	24	17,4	—17,1	24,0	25,4	+5,8	25,4	12,8	—49,6
Cr	3,2	2,1	—33,9	3,2	12,7	+281,0	12,7	16,9	+34,0
Ga	18,2	16,2	—11,0	18,2	54,2	+198,0	54,2	16,4	—69,8
Ni	2,6	3,2	+24,4	,6	2,7	+6,0	2,7	5,7	+111,3
Mo	0,4	0,6	+46,3	0,4	0,1	—75,8	0,1	0,6	+444,0
V	11,9	5,1	—54,7	11,9	14,4	+21,0	14,4	31,0	+115,2
Ce	59,0	109,0	+84,7	59,0	61,3	+5,0	61,3	93,3	+52,4
La	37,4	33,2	—11,2	37,4	26,4	—29,9	26,4	37,6	+43,0
Cu	4,1	4,7	+17,0	4,1	5,2	+27,0	5,2	3,5	—32,9
Y	3,6	3,8	+5,0	3,6	9,6	+163,0	9,6	1,0	—90,6
Zn	2,9	2,7	—7,0	2,9	0,8	—70,9	0,8	0,2	—80,8
Zr	7,1	20,2	+286,0	7,1	12,3	+73,2	12,3	10,5	—15,0
Co	1,5	3,9	+87,5	1,5	0,7	—50,6	0,7	0,7	—10,7
Sr	203	167	—12,3	203	67,0	—66,8	67,0	162	+140,0
Sc	169	154	—8,8	169	1,6	—99,0	1,6	1,9	—+18,8
Yb	1,8	1,5	—12,5	1,8	0,4	—67,7	0,4	0,1	—67,3

ды источником обогащения постмагматических растворов. Главную роль при этом отводят обмену компонентов между пегматитом и вмещающими породами, проходящему в условиях кислотной или щелочной среды.

Основными этапами в истории формирования пегматитов принято считать магматический и постмагматический [2, 4]. На первом этапе происходят кристаллизация и перекристаллизация магматических пород (образование бесслюдных пегматитов), на втором — благоприятная внутрирудная тектоника и возрастающая активность поступающих растворов, что способствует образованию промышленного мусковита.

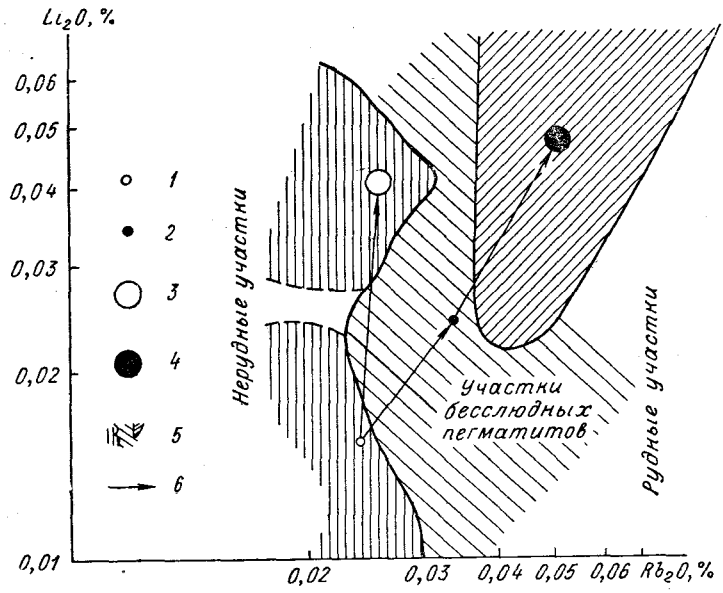


Рис. 1. Распределение Li_2O и Pb_2O в биотитах дистен-гранат-биотитовых гнейсов в рудных и нерудных участках:

1 и *2* — среднее содержание элементов тонкомелкозернистых гнейсов соответственно нерудных и рудных участков; *3* и *4* — среднее содержание элементов среднекрупнозернистых гнейсов соответственно нерудных и рудных участков; *5* — поля частных проб; *6* — направленность процессов

На первом этапе минеральный состав и структура вмещающих пород не изменяются. Однако сопоставление породообразующих минералов тонкомелкозернистых дистен-гранат-биотитовых гнейсов и аплитовидных пород нерудного и рудного участков (к рудным участкам отнесено пространство шириной не более 150 *м*, примыкающее к одиночной жиле, кусту или зоне пегматитовых жил) показывает возрастающую активность миграции микрокомпонентов между минералами указанных пород и пегматитов (рис. 2). Эта активность значительно превосходит миграцию при региональном метаморфизме. Направленность такого обмена показана в таблице и на рис. 2. Такие элементы, как Ba, Ti, Pb, Cr, Ni, V, Ce, La, Cu, Zn, Zr, Co, Sr, Ga, Y, Se, Yb и Mn выносятся из вмещающих пород в пегматиты, а Be, Mo привносятся во вмещающие породы. Начало такой активности обусловлено, по-видимому, преобладающей щелочной обстановкой (см. рис. 1). По отдельным минералам и элементам этот обмен следующий. Например, из всех минералов гней-

сов выносится Ba, Pb. Барий в минералах аплитовидных пород перераспределяется с частичным привносом из гнейсов. Основная же масса мигрирует в микроклины пегматитов. На этой стадии содержание Ba в микроклинах составляет 1—5%. Свинец также выносится из всех минералов гнейсов и, кроме того, из ряда минералов аплитовидных пород с последующей концентрацией в минералах пегматитов (преимущественно в полевых шпатах).

Этап формирования промышленного мусковита в пегматитах характеризуется возрастанием кислотности среды (наиболее повышенное со-

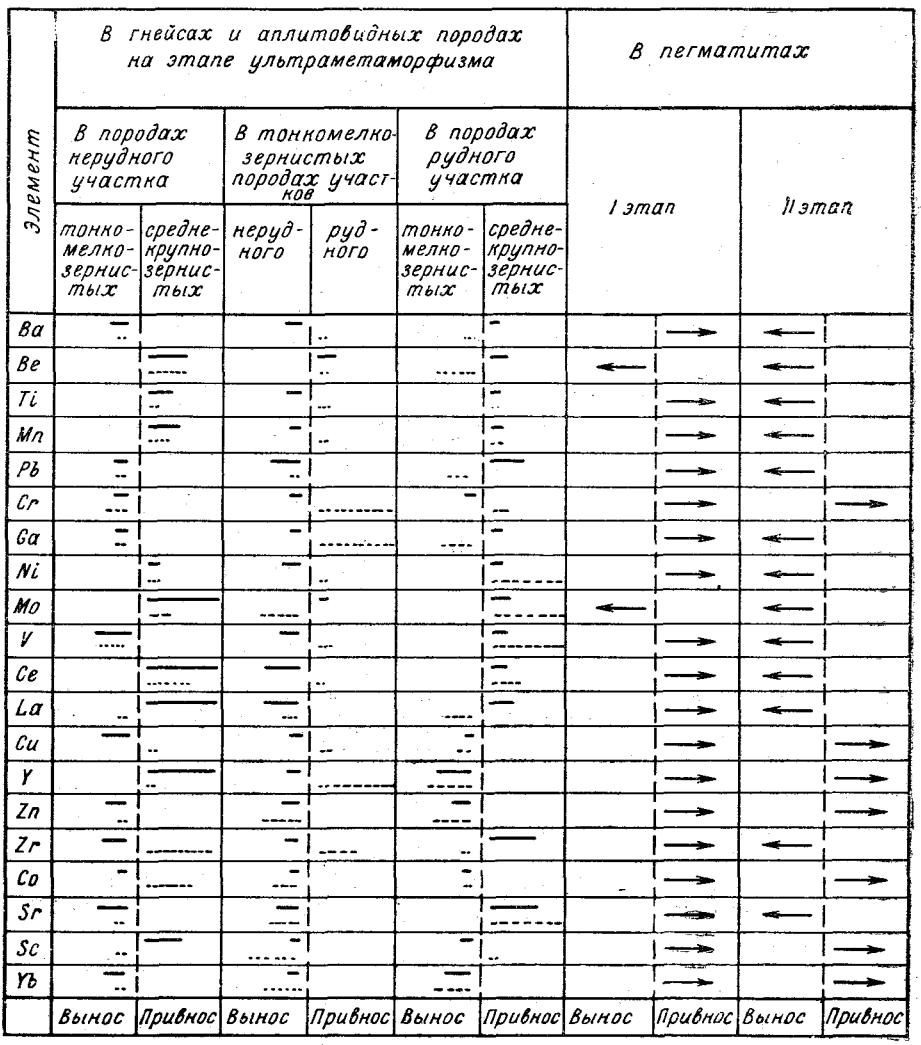


Рис. 2. Миграция микроэлементов в горных породах Чупинского района на разных этапах минералообразования.
Величина привноса или выноса элементов в дистен-гранат-биотитовых *а* и аплитовидных *б* породах соответствует 100%

держание Li_2O при умеренном повышении содержания Rb_2O). При этом изменяется минеральный состав вмещающих пород. Биотит и дистен замещаются мусковитом, разрушается гранат, породы подвергаются перекристаллизации, образуются среднекрупнозернистые их разновидности. Если на этапе формирования бесслюдных пегматитов из 20 элементов 18 мигрировали в пегматиты, то на этапе формирования промышленного мусковита почти то же число элементов (13) обильно выносится из пегматитовых жил (см. рис. 2). К числу элементов, поступающих во вмещающие породы, относятся Ba, Be, Ti, Mn, Pb, Ga, Ni, Mo, V, Ce, La, Zr и Sr. Остальные элементы Cr, Cu, Y, Zn, Co, Sc, Yb выносятся из вмещающих пород и обогащают минералы пегматитов.

Выводы

1. Региональный метаморфизм и ультраметаморфизм при сопоставлении тонкомелкозернистых и среднекрупнозернистых пород, по-видимому, протекает в условиях наименьшей щелочности. Миграция микроэлементов между породами ограничена.

2. При формировании бесслюдных пегматитов, проходящем в условиях более повышенной щелочности, усиливается миграция элементов между минералами разных по составу вмещающих пород и пегматитов.

3. Процесс формирования промышленного мусковита в пегматитах характеризуется повышенной кислотной средой с преимущественным выносом микроэлементов из пегматитовых жил и их миграцией во вмещающие породы.

4. Широкая миграция микроэлементов при формировании бесслюдных и слюдоносных пегматитов подтверждает ранее сделанные выводы об открытой системе [2].

5. В практике геохимических работ при поисках кустов слюдоносных пегматитовых жил по их первичным ореолам в качестве элементов-индикаторов можно использовать Ba, Mn, Pb, Cr, V, Ce, Zr, Co, Sr, Ti, Li_2O и Rb_2O.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитин В. Д. Влияние вмещающих горных пород на тип минерализации эндогенных месторождений. ЗВМО, 1959, ч. 88, вып. 5.

2. Никитин В. Д. Современное состояние учения о процессах и условиях формирования пегматитов. Зап. ЛГИ, 1959, т. 40, вып. 2.

3. Никитин В. Д. Процессы перекристаллизации и метасоматоза в слюдоносных и керамических пегматитах. Зап. ЛГИ, 1952, 27, вып. 2.

4. Шмакин Б. М., Макрыгина В. А. Геохимические особенности мусковитовых пегматитов и их контактовых ореолов. Наука, 1969.

5. Шуркин К. А. и др. Беломорский комплекс Северной Карелии и юго-запада Кольского полуострова. АН СССР, 1962.