

*А.И. Гусев¹, Е.А. Гусев²***ТИПИЗАЦИЯ ГРАНИТОИДОВ ПО СОСТАВУ БИОТИТА**

1 - Горно-Алтайская экспедиция, Малоенсейское

2 - ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург

В зарубежной и отечественной литературе в последнее время большое внимание уделяется главным петрогенетическим типам гранитоидов (M, I, S, A), выделяемым на различной классификационной основе с использованием петрографических, петрохимических, геохимических, изотопных и иных признаков. Указанные критерии выделения петрогенетических типов гранитов весьма неоднородны и часто дают неоднозначные результаты [5]. В последнее время для этих же целей при выделении некоторых типов и подтипов гранитоидов используются мафические минералы [14], составы биотита [6, 13], биотита и роговой обманки [8]. Очевидная перспективность последнего направления подчеркивается многими исследователями [5, 6, 8, 10]. При этом В.В.Ляхович считает, что более достоверные результаты для классификационных целей и генетических представлений дает изучение составов минералов, так как последние отражают геохимические особенности среды минералообразования [4, 5]. Нами на основе опубликованных составов биотитов и авторских анализов по различным регионам проведена оценка средних содержаний элементов в биотитах для основных петрогенетических типов гранитоидов (см. таблицу).

Анализ данных таблицы показывает, что средние содержания элементов в слюдах гранитоидов закономерно меняются от М- к А-типу. На фоне уменьшения концентраций титана происходит снижение температуры кристаллизации пород. В этом же направлении происходит увеличение количества фтора (от 0,31 до 2,26), суммарного железа (от 18,79% для М-типа и до 24,66% у А-типа) и общей железистости минерала (от 39,9 до 75,4). Увеличение титанистости слюды с ростом температуры устанавливается экспериментально и подтверждено многочисленными природными примерами [7, 11]. Известно, что вхождение в кристаллическую решетку триоктаэдрических слюды дополнительных многовалентных

катионов, таких как Ti^{4+} , облегчается с повышением температуры [2]. Поведение таких компонентов как глинозем (в том числе и алюминий тетраэдрической и октаэдрической координации), магний, вода более сложно и коррелируется с изменением фугитивности кислорода и условного потенциала ионизации биотита [1]. Закономерности изменения концентраций элементов и указанных параметров обусловлены физико-химическими условиями формирования пород, выходящими за рамки обсуждаемой проблемы.

Такие заметные вариации составов биотитов после пересчетов на кристаллохимические формулы индивидуальных анализов позволили построить трехкомпонентную диаграмму (рис. 1), позволяющую уверенно дискриминировать принадлежность биотитов к конкретному петрогенетическому типу. В качестве примера на диаграмму вынесены составы слюд некоторых массивов Горного Алтая. Перекрытие полей не превышает 10-15% площадей. Координаты диаграммы охватывают наиболее важные структурогенные компоненты биотита, участвующие в его тетраэдрических и октаэдрических позициях, а также F и OH, являющиеся первичными в анионном каркасе, и определяющими флюидный режим петрогенезиса.

Группа биотитов М-типа содержит наименьшее число анализов и охватывает трондьемиты саракочшинского, а также плагиограниты в серпентинитовом меланже чаган-узунского офиолитового комплексов Горного Алтая, плагиограниты габбро-плагиогранитного архызского и пластинчатого комплексов даек в касеевской свите Северного Кавказа, плагиограниты майнского комплекса Енисейского массива Западного Саяна. Геодинамическая обстановка формирования перечисленных комплексов отвечает задуговым бассейнам (в составе офиолитовых комплексов) и внутриконтинентальным рифтам. Анализы биотитов плагиогранитов СОХ отсутствуют в литературе.

Средние составы биотитов петрогенетических типов гранитоидов (мас. %)

Компоненты	М-тип, n = 29		I-тип, n = 1043		S-тип, n = 267		A-тип, n = 941	
	X	S	X	S	X	S	X	S
SiO ₂	35.49	0.73	37.21	0.97	37.22	1.01	37.43	1.76
TiO ₂	3.29	1.31	3.19	0.73	2.80	0.509	2.29	1.02
Al ₂ O ₃	11.89	1.61	15.08	1.28	17.71	1.88	15.15	3.83
Fe ₂ O ₃	3.26	0.33	3.98	1.54	3.7	1.94	6.72	4.49
FeO	15.53	3.27	16.21	2.63	18.88	2.5	17.94	6.07
MnO	0.54	0.06	0.45	0.11	0.47	0.31	0.64	0.35
MgO	18.71	5.29	10.5	2.42	6.89	2.39	5.61	4.69
CaO	1.07	0.62	0.82	0.79	0.32	0.37	0.77	0.48
Na ₂ O	0.13	0.02	0.22	0.101	0.18	0.08	0.54	0.47
K ₂ O	6.93	0.61	8.1	0.95	8.56	1.05	7.87	0.83
P ₂ O ₅	0.22	0.09	0.07	0.044	0.15	0.08	0.09	0.11
F	0.31	0.13	0.54	0.16	0.88	0.34	2.26	1.79
H ₂ O	2.81	0.51	3.06	0.36	3.27	0.83	2.35	0.91
Cl	0.2	0.07	0.38	0.29	0.12	0.08	0.07	0.07
Li ₂ O	–	–	–	–	0.063	0.034	0.432	0.179
Rb ₂ O	–	–	–	–	0.072	0.039	0.824	0.270
Fe ₂ O ₃ /FeO	0.21	–	0.24	–	0.19	–	0.37	–
f	39.9	–	55.98	–	67.7	–	75.4	–
l	25.6	–	33.0	–	38.5	–	33.4	–
y	188.7	–	190.92	–	190.58	–	188.14	–
lg fO ₂	–8.1	–	–12.1	–	–14.2	–	–12.5	–
T°C	915	–	710	–	625	–	565	–
lg fHF/fHCl	–4.32	–	–2.71	–	–1.2	–	0.40	–
Al _{IV}	1.71	–	1.82	–	1.94	–	1.77	–
Al _{VI}	–0.12	–	0.27	–	0.50	–	0.35	–

Примечание. f – железистость ($f = 100 \times (\text{Fe} / \text{Fe} + \text{Mg})$); l – глинозёмистость ($l = 100 \times \text{Al} / \text{Al} + \text{Si} + \text{Fe} + \text{Mg}$); y – условный потенциал ионизации по В.А. Жарикову (1967); lg fO₂ – логарифм фугитивности кислорода; T°C – температура; lg fHF/fHCl – логарифм отношений фугитивностей плавиковой и соляной кислот; Al_{IV} и Al_{VI} – алюминий тетраэдрической и октаэдрической координации; n – объёмы выборки; x – среднее содержание, %; S – стандартные отклонения.

Совокупность гранитоидов I-типа представлена наибольшим количеством анализов слюд и содержит большой спектр комплексов Алтае-Саянского региона, Забайкалья, Большого Кавказа, Урала, Средней Азии, Австралии, Северной и Южной Америки, Африки, Шотландии, Западной Европы. Это мантийно-коровые гранитоиды. Инициальные магмы имеют разную степень контаминации корового материала. Геодинамические режимы их генерации отвечают островным дугам, континентальным окраинам, начальным стадиям коллизионных обстановок.

Группа S-типа объединяет гранитоиды Алтае-Саянской складчатой области, Забайкалья, Карелии, Алдана, Большого Кавказа, Воронежского кристаллического массива, Средней Азии, Австралии, Западной Европы, Высоких Гималаев, Южного Китая, Вьетнама. Это коровые и мантийно-коровые гранитоиды позднеколлизионных обстановок, зон сдвиговых дислокаций и трансформных разломов (комплексы метаморфических ядер). Значительная часть пород этой группы формировалась в зонах ультраметаморфизма в результате гранитизации, вызванной мантийными флюидами, или трансмагматическими растворами [3]. Хотя

большинство зарубежных петрологов стоят на позиции гранитизации как результата парциального плавления метаосадочных пород Земной коры [9].

Анорогенные гранитоиды A-типа включают разнородные интрузивные образования: моношпатовые щелочные гиперсольвусные, двуполевошпатовые субсольвусные умеренно-щелочные, рапакиви и плюмазитовые редкометалльные. В выборку этого типа вошли биотиты гранитоидных комплексов Алтае-Саянского региона, Средней Азии, Забайкалья, Монголии, Малого и Большого Кавказа, Балтийского щита, рифта Рио-Гранде, грабена Осло, Восточно-Африканской рифтовой системы. Это мантийно-коровые и мантийные гранитоиды различных геодинамических обстановок: мантийных горячих точек, внутриконтинентальных рифтов, связанных с мантийными горячими точками, активизации кратонных стадий древних платформ.

На классификационной диаграмме, по М. Фостеру, [12] средние составы биотитов петрогенетических типов гранитоидов образуют тренд от высокомагнезиального биотита (M-тип) к железистому (A-тип) (рис. 2). Слюды первого наиболее приближены к

Рис. 1. Диаграмма $f - I - OH/F$ в биотитах гранитоидов Горного Алтая. Группы петрогенетических типов гранитоидов: М – мантийные СОХ, задуговых бассейнов (в составе офиолитовых комплексов); I – мантийно-коровые островных дуг, континентальных окраин и коллизионных обстановок, S – коровые и мантийно-коровые коллизионных обстановок и комплексов метаморфических ядер; А – мантийно-коровые и мантийные анорогенных обстановок (внутриконтинентальных рифтов, горячих точек, мантийных плюмажей, активации кратонных стадий древних платформ). f – общая железистость ($f = Fe+Mn / Fe+Mn+Mg$), I – глиноземистость ($I = Al / Si+Al+Fe+Mg$); OH / F – отношение гидроксильной группы к фтору. Плагииграниты, трондjemиты комплексов: 1 – саракочинского, 2 – чаган-узунского; тоналиты, гранодиориты, сиениты, граниты: 3 – югалинского, 4 – ульменского, 5 – топольнического, 6 – кубадринского, 7 – боровлянского; лейкограниты, умеренно-щелочные граниты, кварцевые сиениты: 8 – турочакского, 9 – кызылташского.

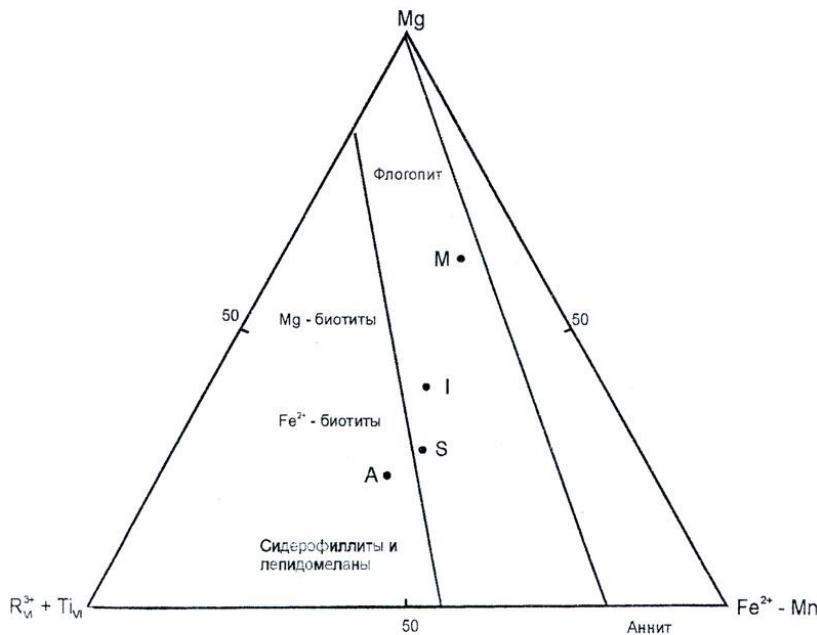
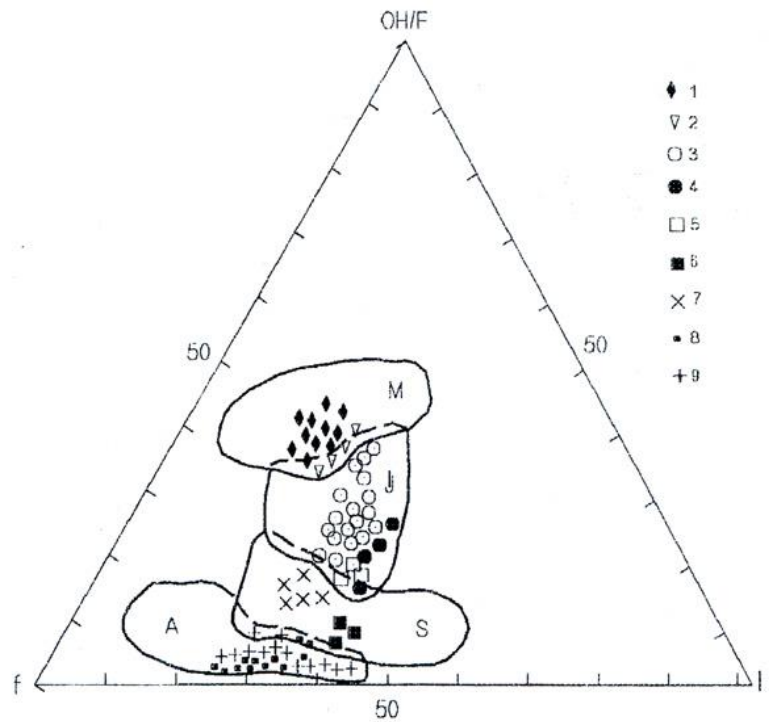


Рис. 2. Соотношения между основными компонентами триоктаэдрической координации биотитов. Поля составов отдельных разновидностей (по М.Фостеру).

флогопитам, а последнего - к сидерофиллитам и лепидомеланам. Биотиты I- и S-типов относятся к железистым разновидностям с различными соотношениями магния и железа. Наиболее железистый биотит гранитов А-типа имеет самые низкие значения условного потенциала ионизации и, следовательно, характеризуется наименьшей кислотностью и наибольшей основностью сравнительно со слюдами других типов гранитоидов. В то же время это наиболее щелочнометалльный тип (в понимании Д.С. Коржинского) и обогащенный такими летучими как фтор, бор и другими. А-тип гранитов

обогащен не только щелочными металлами, но и часто содержит щелочные темноцветные минералы (эгирин, арфведсонит и др.). Характеризуясь обогащенностью щелочными металлами, этот тип гранитоидов обладает высокой степенью окисленности, создающей благоприятную среду, необходимую для поддержания химической активности высокзарядных катионов (Fe^{3+} , Nb, Ta, некоторые REE и др.) на достаточно высоком уровне. В биотите А-типа гранитов, в соответствии с вышесказанным, наблюдаются самые высокие концентрации триоксида железа и максимальные отношения Fe_2O_3/FeO (0,37).

Слюда I-типа гранитоидов характеризуется максимальной величиной условного потенциала ионизации, указывающего на высокую кислотность минерала сравнительно с другими типами (см. таблицу). Самые высокие концентрации хлора в составе летучих и довольно высокие значения водосодержаний в биотите этого же типа гранитоидов, вероятно, создают благоприятные условия для генерирования такими магмами оруденения Au, Cu, Fe.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жариков В.А. Кислотно-основные характеристики минералов // Геология рудных месторождений. 1967. №5. С. 75-89.
2. Коренбаум С.А. Типоморфизм слюд магматических пород. М.: Наука, 1987. 144 с.
3. Коржинский Д.С. Потоки трансмагматических растворов и процессы гранитизации // Магматизм, формации кристаллических пород и глубины Земли. М.: Наука. 1972. С. 144-153.
4. Ляхович В.В. Состав минералов - индикатор происхождения пород // Минералогический журнал. 1987. Т.9. №1. С. 16-24.
5. Ляхович В.В. Коровые гранитоиды // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1989. №8. С. 3-20.
6. Путинцев А.В., Григорьев С.И. Состав биотитов из гранитов и петрогенетическая типизация орогенных гранитоидных серий // Записки Всероссийского минералогического общества. 1993. Т. 122. №4. С. 18-34.
7. Хитрунов А.Т. О титанистости биотитов гранитоидов // Докл. АН СССР. 1974. Т. 215. №5. С. 1214-1216.
8. Ague J.J., Brimhall G.H. [Regional variations in bulk chemistry, mineralogy, and compositions of mafic and accessory minerals in the batholiths of California](#) // Bull. Geol. Soc. Amer. 1988. V. 100. №6. P. 891-911.
9. Chappell B.W., White A.J.R. Two contrasting granite types // Pacific Geology. 1974. V. 8. P. 173-174.
10. Eby G.N. [Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications](#) // Geology. 1992. V. 20. P. 641-644.
11. Forbes W.C., Flower M.F.J. [Phase relations of titan-phlogopite](#) // Earth Planetary Scientific Letters. 1974. V. 22. №1. P. 60-66.
12. Foster M.D. [Interpretation of the composition of trioctahedral micas](#) // U.S. Geol. Surv. Prof. Paper. 1960. V. 354E. P. 301-314.
13. Nachit H., Razafimahefa N., Stussi J.M., Carron J.P. [Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoïdes](#) // Comptes Rendus de l'Academie des Scieonces, Paris. 1985. V. 301. №6. P. 813-818.
14. Rossi P., Chevremont P. Classification des associations magmatiques granitoides // Geochronique. 1987. V. 21. №1. P. 14-18.

Ссылка на статью:



Гусев А.И., Гусев Е.А. Типизация гранитоидов по составу биотита // Петрография на рубеже XXI века: итоги и перспективы. Материалы Второго Всероссийского петрографического совещания 27-30 июня 2000 года. Том 2. Сыктывкар. С. 267-270.