

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ И РЕДКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОДАХ СРЕДНЕГО РИФЕЯ БАШКИРСКОГО МЕГАНТИКЛИНОРИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ) И ИХ РОЛЬ В РЕКОНСТРУКЦИИ МАГМАТИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ*

© **Н.Д. Сергеева**,
кандидат геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник,
Институт геологии,
Уфимский федеральный
исследовательский центр РАН,
ул. К. Маркса, 16/2,
450077, г. Уфа, Российская Федерация
эл. почта: nipey@ufaras.ru

© **В.Н. Пучков**,
доктор геолого-минералогических наук,
член-корреспондент РАН,
главный научный сотрудник,
Институт геологии и геохимии
им. А.Н. Заварицкого,
Уральское отделение РАН,
ул. Академика Вонсовского, 15,
620016, г. Екатеринбург, Российская
Федерация
эл. почта: puchkv2@mail.ru

© **А.А. Краснобаев**,
доктор геолого-минералогических наук,
главный научный сотрудник,
Институт геологии и геохимии
им. А.Н. Заварицкого,
Уральское отделение РАН,
ул. Академика Вонсовского, 15,
620016, г. Екатеринбург,
Российская Федерация
эл. почта: krasnobaev@igg.uran.ru

© **С.Г. Ковалев**,
доктор геолого-минералогических наук,
директор Института геологии,
Уфимский федеральный
исследовательский центр РАН,
ул. К. Маркса, 16/2,
450077, г. Уфа, Российская Федерация
эл. почта: kovalev@ufaras.ru

© **А.А. Ратов**,
младший научный сотрудник,
Институт геологии,
Уфимский федеральный
исследовательский центр РАН,
ул. К. Маркса, 16/2,
450077, г. Уфа, Российская Федерация
эл. почта: ratov1990@icloud.com

В статье рассматривается машакское магматическое событие среднего рифея в Башкирском мегантиклинории (Южный Урал). Датирование магматических образований в рифее в последние годы на Южном Урале и сопредельной части Русской плиты U-Pb методом по циркону и бадделеиту (SHRIMP и ID-TIMS) показало значительное развитие магматических процессов на рубеже нижнего и среднего рифея в указанных регионах. Событийный подход в решении геологических задач может служить основой для определения переломных рубежей в истории геологического развития регионов. При этом природа и характер магматических событий могут иметь в каждом регионе свою специфику, для выявления которой в статье рассматриваются особенности содержания, состава и распределения редкоземельных (РЗЭ) и редких (РЭ) элементов-примесей в надежно датированных магматических породах интрузивных (пикриты, габбро, долериты, граниты) и вулканогенных (базальты, дациты и риолиты) комплексов машакского магматического события среднего рифея Башкирского мегантиклинория (Южный Урал). Перечисленные типы магматических пород имеют полный спектр РЗЭ, значительные вариации в содержании и характере распределения элементов-примесей. Для определения источников вещества магматических образований (коровый и/или мантийный) использовано отношение реперных элементов-примесей Sr и Rb. Установлено, что формирование ультрабазитов и базитов машакского магматического комплекса происходит в основном за счет мантийного вещества, а гранитоидных магм – с участием коровой компоненты.

Полученные результаты изучения элементов-примесей в магматических породах среднего рифея региона согласуются с представлениями о суперплюмовой природе рифтогенеза и связанных с ним магматических процессах.

Ключевые слова: машакская свита, магматические породы, редкоземельные и редкие элементы, рифт, кора, мантия, Башкирский мегантиклинорий, Южный Урал

* Исследования выполнены в соответствии с планами научно-исследовательских работ Института геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН (темы гос. заданий № 0246-2019-0087 и № 0252-2017-0012) и Института геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН (тема гос. задания АААА-А18-118052590032-6)

в скважинах 183 Мензелино-Актанышская [7] и 1 Восточно-Аскинская [8].

Событийный подход может служить основой для определения переломных рубежей в геологической истории региона, при этом природа и характер событий в каждом регионе могут иметь свою специфику.

Для выявления особенностей машакского магматического события в среднем рифее Башкирского мегантиклинория в статье рассматриваются редкоземельные (РЗЭ) и ред-

кие (РЭ) элементы-примеси в магматических породах надежно датированных магматических комплексов: габбро Бердяушского плутона и Главной Бакальской дайки; граниты Ахмеровского массива; пикриты, метабазалты, дациты, риолитовые порфиры и риолиты Шатакского, Машакского и Кувашского комплексов. Геологическая позиция магматических образований и местоположение проб показаны на рисунке 1 и в сводном стратиграфическом разрезе машакской свиты (рис. 2).

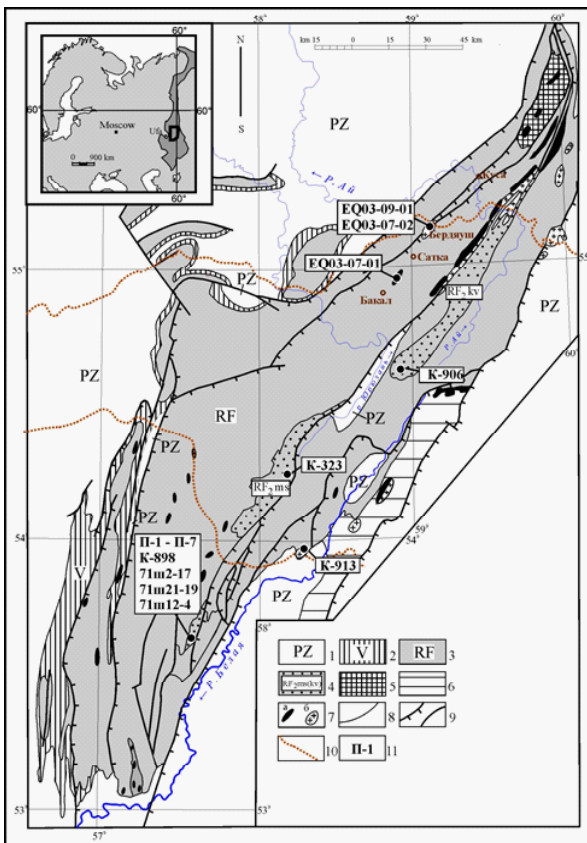


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Башкирского мегантиклинория (Южный Урал). По [6] с упрощениями

Нерасчлененные отложения: 1 – палеозоя, 2 – венда, 3 – рифея, 4 – вулканогенно-осадочные отложения машакской и кувашской свит; 5 – нерасчлененные породы тараташского метаморфического комплекса (архей-нижнепротерозойского возраста); 6 – метаморфические образования Уфалейского и Уралтауского антиклинориев, 7 – магматические образования: габбродолериты (а) и граниты (б); 8 – геологические границы, 9 – основные разрывные нарушения, 10 – автомагистрали, 11 – местоположение проб

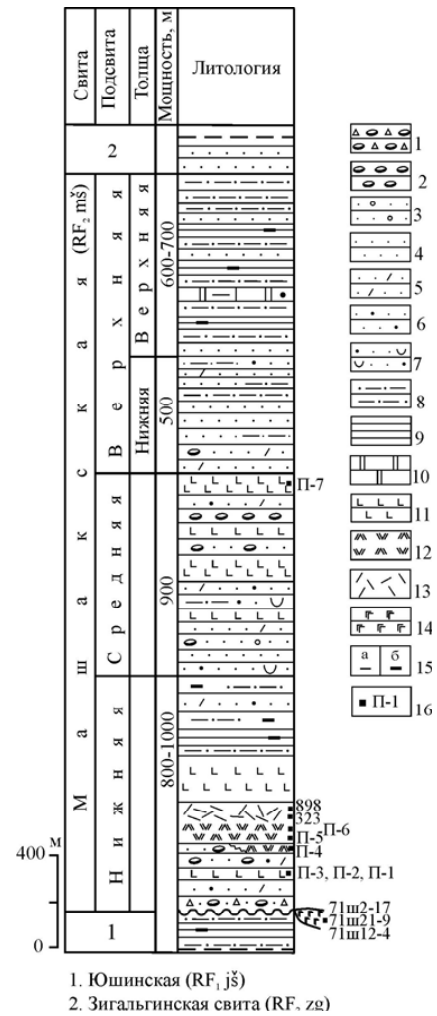


Рис. 2. Сводная стратиграфическая колонка отложений машакской свиты среднего рифея Южного Урала. [6] с дополнениями

1 – конгломерато-брекчии, 2 – конгломераты, 3 – гравелиты, 4–6 – песчаники: 4 – кварцевые, 5 – полимиктовые, 6 – полевошпат-кварцевые, 7 – туфо-песчаники; 8 – алевролиты, 9 – сланцы глинистые, 10 – доломиты, 11 – метабазалты, 12 – дациты, 13 – риолиты, 14 – пикриты, 15 – характеристика пород: глинистость (а), углеродистость (б); 16-места отбора проб на циркон

ТАБЛИЦА 2 – Содержание (г/т) редкоземельных элементов в магматических породах кислого состава среднего рифея Башкирского мегантиклинория (Южный Урал)

Порода	Гранит*	Дацит			Риолит		
		К-913	П-4	П-5	П-6	К-323	К-898
Проба элемент	К-913	П-4	П-5	П-6	К-323	К-898	К-906
La	51,062	24,20	139,154	24,98	67,463	61,951	61,518
Ce	113,954	54,524	304,804	55,153	92,63	125,062	130,393
Pr	16,8	8,705	31,142	7,942	16,812	20,424	18,774
Nd	61,755	35,46	116,727	31,957	66,1	78,926	72,697
Sm	10,979	8,381	24,165	6,26	12,398	14,508	12,804
Eu	1,645	1,602	4,029	1,065	2,021	2,522	2,164
Gd	9,763	8,41	16,892	6,875	10,554	13,722	10,865
Tb	1,513	1,396	1,997	1,138	1,567	2,157	1,649
Dy	9,615	9,357	10,912	7,933	9,679	13,743	10,026
Ho	1,951	2,188	2,135	1,728	2,028	2,854	2,106
Er	5,677	7,50	6,441	5,337	6,109	8,15	6,399
Tm	0,84	1,266	1,00	0,844	0,956	1,232	1,022

Анализы выполнены в лаборатории ИГиГ УрО РАН (г. Екатеринбург)

Примечание – пробы К-898, К-906, К-323 из коллекции А.А. Краснобаева.

*Использованы данные для проб: К-913 [4] и EQ03-07-01, EQ03-09-01 и EQ03-09-02 [3]

ТАБЛИЦА 3 – Содержание (г/т) редких элементов (РЭ) в магматических породах среднего рифея Башкирского мегантиклинория (Южный Урал)

Породы	Пикриты*			Габбро*			Метабазальты			
	71ш2-17	71ш21-9	71ш12-4	EQ03-07-01	EQ03-09-01	EQ03-09-02	П-1	П-2	П-3	П-7
Cs	0,06132	0,02174	0,12652	0,6	4,0	2,8	0,175	0,205	0,024	1,447
Rb	1,43782	0,21216	4,01942	23	109	90	1,378	2,85	0,431	12,331
Th	1,74225	0,67787	1,69281	1,7	0,7	0,6	1,858	1,580	8,353	1,752
U	0,48866	0,16443	0,41111	0,4	0,2	0,1	0,542	0,430	0,405	0,655
Pb	45,0028	0,66371	10,0244	-5	-5	-5	2,193	1,428	6,361	17,867
Ba	17,5291	1,95345	44,5035	264	919	919	20,612	33,374	18,644	73,802
Nb	16,4015	1,61594	17,6652	11	8	7	11,415	11,920	14,945	9,856
Ta	0,80854	0,09216	0,86590	0,4	0,4	0,4	0,779	0,709	0,822	0,651
Be	0,85046	0,17730	1,40833	-	-	-	0,782	0,861	0,891	0,643
W	0,42533	0,08369	0,46536	-1	1	-1	0,189	0,168	1,818	1,331
Sr	531,569	1,33674	213,690	273	391	370	35,974	38,097	258,335	158,201
Zr	136,866	25,7522	142,965	125	110	102	120,491	107,458	86,128	102,929
Hf	3,41067	0,77513	3,81420	3,6	3,2	3,0	4,312	3,641	2,832	3,606

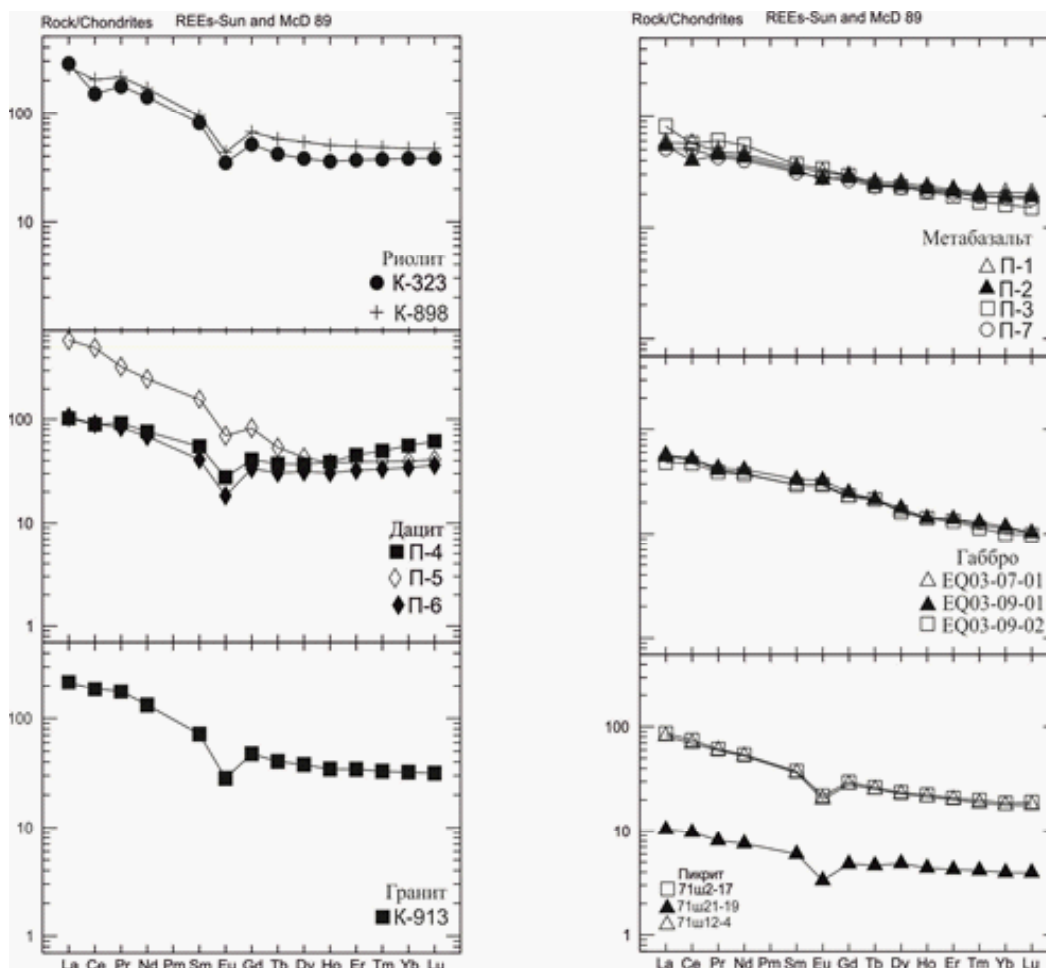


Рис. 3. Распределение РЗЭ в магматических образованиях среднего рифея Башкирского мегантиклинория

Местоположение проб П-1 и других см. рис. 1 и 2. Аналитические данные см. табл. 1 и 2

Использованы данные для проб: К913 [4], EQ03-07-01, EQ03-09-01, EQ03-09-02 [3] и 71ш2-17, 71ш21-9, 71ш12-4 из коллекции Ковалева С.Г. [2]

Для всех типов магматических пород машакского события (табл. 1 и 2) характерны полные спектры РЗЭ, а различия проявляются в их содержании. Максимальная сумма РЗЭ отмечена в дацитах (667,123 г/т в пробе П-5) и риолитах (354,439 г/т в пробе К898), что обусловлено более высокой концентрацией легких лантаноидов, особенно Се. В пикритах наблюдается (см. табл. 1) значительное колебание содержания суммы РЗЭ (от 18,03108 г/т в пробе 71ш-9 до 126,1296 г/т в пробе 71ш-12-4), в отличие от габбро, где эти колебания незначительны (от 82,56 г/т в пробе EQ03-09-02 до 90,83 г/т в пробе EQ03-09-01).

Особенности распределения РЗЭ в магматических породах отображены на спайдер-диаграммах (рис. 3), построенных с нор-

мированием содержаний РЗЭ к хондриту по [9].

Характер распределения РЗЭ в магматических породах, отраженный на спайдер-диаграммах, свидетельствует о преобладании легких лантаноидов ($\Sigma La = La + Ce + Pr + Nd$) над тяжелыми ($\Sigma Sc = Er + Tm + Yb + Lu$). В распределении РЗЭ в гранитах, дацитах, риолитах и пикритах наблюдается четкий Eu минимум, который отсутствует в метабазальтах (Машакский и Шатакский комплексы) и их комагматах – габбро (Бердяушский плутон и Главная Бакальская дайка). Отрицательная европиевая аномалия в гранитоидах может быть связана с тем, что уже на раннем этапе кристаллизации габбро (Бердяушский плутон – 1410–1390 млн лет [5] и Главная Бакальская дайка – $1385,3 \pm 1,4$ Ма [3]) Eu изоморфно входит в кристаллическую структуру

плагиоклаза (основного породообразующего компонента базитов), что приводит к уменьшению его содержания в остаточном расплаве, при участии которого позднее (временной интервал 1348–1383 млн лет [7]) формируются гранитоидные породы. Существует и другая причина, влияющая на возникновение европиевого минимума в магматических породах гранитоидного и ультраосновного состава, обусловленная незначительным содержанием в них плагиоклаза, с которым совместим Eu. Поэтому наличие европиевой аномалии не может служить индикаторным признаком при корреляции разновозрастных магматических образований или определении условий формирования магматических

комплексов. То, что величина европиевого минимума практически не зависит от глубины кристаллизации пород, их возраста и формационной принадлежности, было показано [10] при изучении различных факторов, влияющих на образование отрицательной европиевой аномалии в магматических породах окраинно-континентальных вулканогенных поясов на востоке России (области развития мезозойско-кайнозойского субэдрального вулканизма).

Для сравнения концентраций РЭ (табл. 3 и 4) в породах рассматриваемых магматических комплексов воспользуемся спайдер-диаграммой (рис. 4) с нормированием содержания РЭ к примитивной мантии по [11].

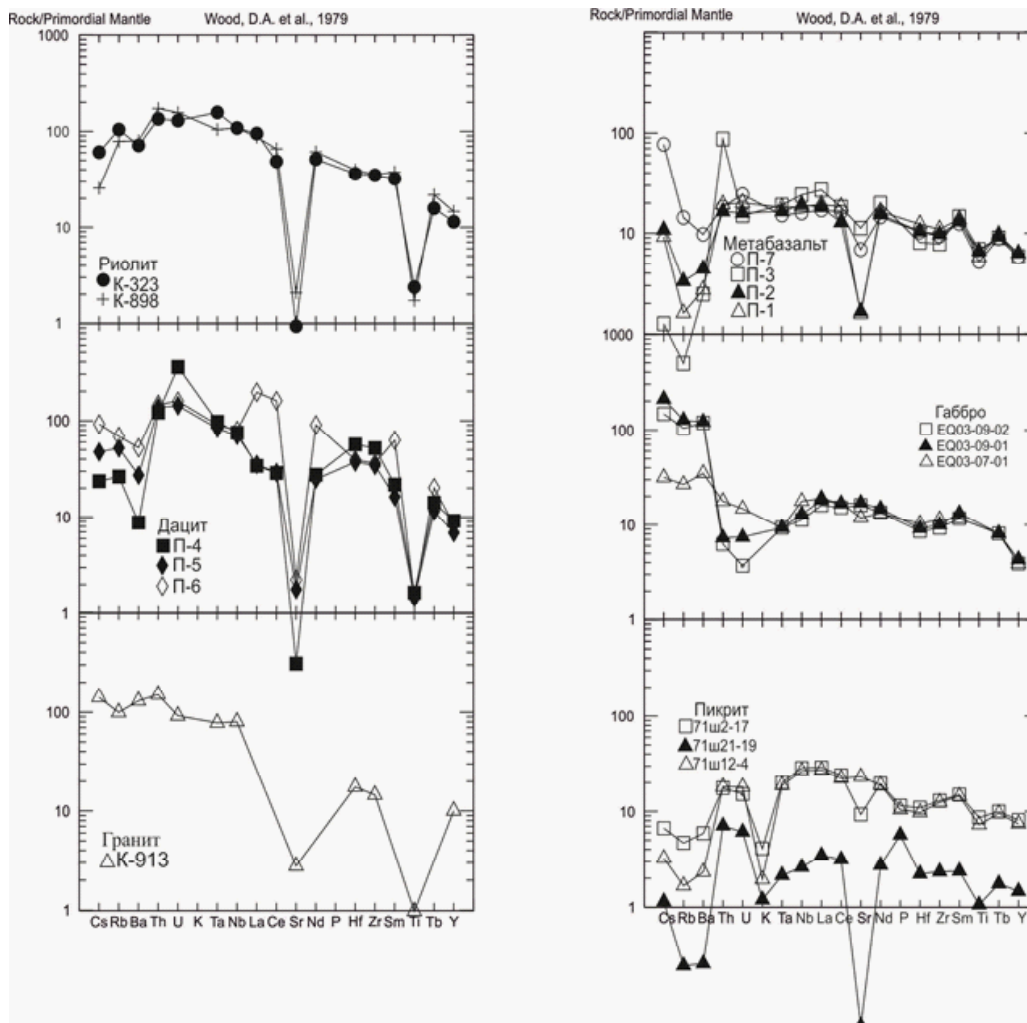


Рис. 4. Распределение РЭ в магматических образованиях среднего рифея Башкирского мегантиклинория (Южный Урал)

Местоположение проб П-1 и других см. рис. 1 и 2. Аналитические данные см. табл. 3 и 4

Использованы данные для проб: K-913 [4], EQ03-07-01, EQ03-09-01 и EQ03-09-02 [3] и 71ш2-17, 71ш2-9, 71ш2-4 из коллекции Ковалева С.Г. [2]

В распределении РЭ в магматических породах среднего рифея на спайдер-диаграмме наблюдаются резкие аномалии в концентрации таких реперных элементов-примесей, как Sr и Rb. Отношение Rb/ Sr используется в изотопной геохимии для определения источников вещества магматических образований: коровый и/или мантийный. На спайдер-диаграмме (см. рис. 4) наблюдается отрицательная аномалия по Sr в большей части пород, исключение составляет габбро, где минимум по Sr отсутствует, что может быть обусловлено его когерентностью к плагиоклазу. Наименьшие значения отношений Rb/ Sr (0.012 до 0.366) имеют габбро, пикриты и базальты (см. табл. 3 и 4), что допускает их формирование за счет мантийного вещества, в котором среднее значение Rb/Sr составляет 0.027 ± 0.011 [12].

Рубидий относится к числу элементов, несовместимых с основными плагиоклазами, поэтому он постепенно перемещается из мантии в кору, где может входить в структуры калиевых полевых шпатов и слюд. Вещество коры обогащается Rb, и для коровых пород, в отличие от мантийных, характерны более высокие значения Rb/Sr. В гранитах, дацитах и риолитах машакского комплекса значение Rb/Sr достигает 4.177 (проба K323), что может свидетельствовать о контаминировании вещества коры при формировании гранитоидных расплавов.

Реконструкция источников вещества

Для целей реконструкции источников вещества вулканоплутонических образований воспользуемся вариационной диаграммой AFM [13], на которой фигуративные точки магматических пород среднего рифея располагаются вблизи линии разграничения полей толеитовой и известково-щелочной серий (рис. 5).

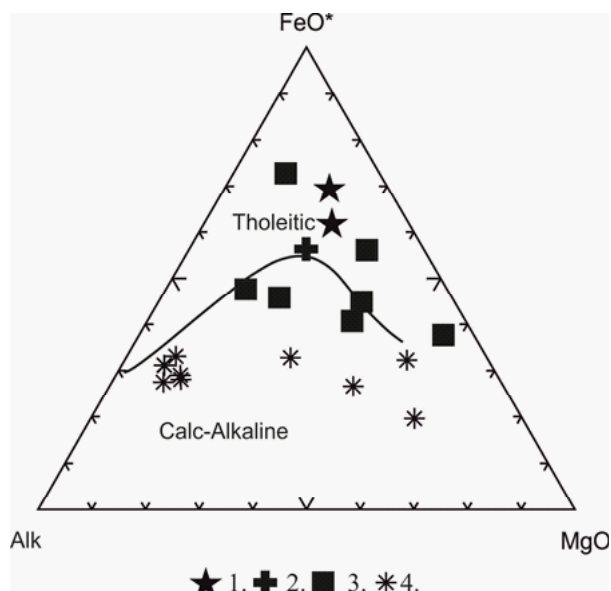


Рис. 5. Классификационная диаграмма AFM [13] вулканоплутонических пород среднего рифея Башкирского мегантиклинория (Южный Урал)

Фигуративные точки: 1 – габбро Бердяушского плутона и 2 – Главной Бакальской дайки; 3 – вулканитов машакской свиты, 4 – гранитов Ахмеровского массива

При этом для гранитов и риолитов характерно расположение фигуративных точек в поле известково-щелочной серии, а для габбро, базальтов и пикритов – в поле толеитовой серии, что согласуется с представлением о формировании основных и ультраосновных пород с повышенным содержанием железа и магния за счет мантийного вещества. Что же касается гранитов и риолитов, их составы могут свидетельствовать об участии в их образовании процесса плавления нижней части земной коры при проникновении в нее разогретого мантийного вещества [14].

Выводы

Машакское магматическое событие представлено контрастными по составу и генезису типами пород: пикриты, габбро, долериты, базальты, граниты, дациты и риолиты. Перечисленные типы пород имеют полный спектр РЗЭ, различия проявляются в их содержании. Максимальное количество РЗЭ отмечено в риолитах за счет повышенных концентраций легких лантаноидов.

