

«ЖЕЛЕЗО — МАГНИЙ — КАЛЬЦИЙ» В МАГМАТИЧЕСКИХ АССОЦИАЦИЯХ

К.И. Свешников

Инженерный факультет

Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115923

Рассмотрены тренды более чем 100 геологических объектов (формаций, вулканических серий, плутонических массивов основного и среднего состава) на диаграмме «железо — магний — кальций». Показано существование четырех главных трендов: «оливин — геденбергит», «геденбергит — феррогеденбергит», «геденбергит — биотит», «оливин — плагиоклаз». Исходные расплавы, отвечающие разным типам трендов, отличались расплавом и геодинамическими условиями возникновения.

Ключевые слова: магматические ассоциации, петрохимические тренды, магматические расплавы, геодинамическое положение.

Вопросы распознавания (разграничения) являются краеугольным камнем при решении всех проблем, касающихся закономерностей распространения и происхождения магматических ассоциаций [2. С. 15; 6. С. 65]. Был предложен ряд петрохимических и геохимических критериев; наибольшей популярностью пользуется система расчленения ассоциаций по соотношениям щелочей. Ряд исследователей придают большое значение соотношениям железа и магния, глинозема и титана. Не отрицая значимости достигнутых результатов, отметим, что используемые диаграммы не позволяют вынести точки составов фемических минералов, играющих важнейшую роль в процессах дифференциации основных расплавов. В этом отношении большие возможности открывает применение диаграммы «железо — магний — кальций». Ниже рассмотрим некоторые результаты использования такой диаграммы.

Нами проанализированы петрохимические выборки по более чем 100 геологическим объектам — отдельным вулканическим толщам, плутоническим массивам и формационным типам. В отдельных случаях фигуративные точки анализов образуют изометричные поля (остается неясным, связано ли это с действительным отсутствием дифференциации по указанным выше параметрам или же с недостаточным количеством имеющихся в нашем распоряжении анализов). Большинство выборок подчиняется нескольким отчетливо выраженным трендам.

Трендам **группы I** (оливин — геденбергит) отвечают базальты срединно-океанических хребтов, ультрамафиты океанов и ряд других ассоциаций, перечисленных в таблице.

Ведущие минеральные парагенезисы во всех случаях — оливин + клинопироксен ± плагиоклаз (ортопироксен в заметных количествах появляется лишь в бонинит-марианитовой серии). В этой связи вполне естественным выглядит частое присутствие пикритов, отсутствующих в ассоциациях других групп. Показательно, что этому же тренду отвечают и кислые породы, входящие в состав некоторых формаций (базальт-липаритовых, базальт-андезит-липаритовых). В петрохимическом отношении тренды характеризуются примерно постоянными соотношениями кальция и железа при последовательном уменьшении количества магния (рис.).

Характерные представители трендов разных типов

Тренды	Положение ассоциаций в геоструктурах	
	океаны	континенты
I Ol-Hd	Базальты COX (N, T, T) [7] Бонинитовая серия, ультрамафиты океанов [7]	Na-базальтовая, андезит-базальтовая. Базальт-липаритовая, базальт-андезитовая формация [4], Коматиитовая формация Дунит-клинопироксенитовая формация
Переход I—II	Базальты океанических островов [7]	Траппы Карру [3], Базальты Байкальского рифта [3], Базальт-долеритовая формация [4] Андезитовый формационный тип [4] Тоналит-плагиогранит-гранодиоритовая формация [4], Плагиогранитовые формации, базальт-андезитовая [4]
II Hd-FeHd Av-FeHd	Известковощелочные формации Аляски, Японии, Камчатки [1; 7], субщелочные базальты Камчатки, вулканиты Южно-Сандвичевых островов [7], вулканиты Исландии [7], щелочные базальты Атлантики [7]	Андезиты Закарпатья Сиенит-габбровая формация [4], Интрузивные траппы Сибири [3], Щелочные базальтоиды Африканского рифта [3], Монцонит-сиенитовая формация [4]
Переход II—III	Известковощелочная и субщелочная базальтовая формации Японского моря [7]	Трахибазальт-трахиандезит-трахилипаритовая формация [4], трахибазальтовая, липарит-лейкобазальтовая формации [4]
III Hd-Bi		Дацит-липаритовая, липаритовая, трахилипаритовая формации [4], Диорит-гранодиоритовая, монцонит-сиенитовая формации Забайкалья Формации щелочных и фельдшпа-тоидных сиенитов [4]

Среди трендов **группы II** преобладают известково-щелочные и субщелочные базальтоидные ассоциации (см. табл.). Здесь может быть выделено несколько подгрупп (4, 5, 7 на рис.), различающихся по направленности, но в целом все они начинаются в точке геденбергита или ферроавгита и «стремятся» к точке феррогеденбергита. В петрохимическом отношении все эти тренды характеризуются постоянным или близким к постоянному относительным количеством кальция и возрастанием отношения железа к магнезию. В области точки Геденбергита концентрируются также точки составов плагиогранитоидных ассоциаций, образующие изометричное поле (область 3 на рис.). Достаточно большое количество имеющихся по ним химических анализов позволяет полагать, что отсутствие дифференциации является характерной особенностью этих ассоциаций.

Тренды **группы III** (8, 9, 10) пересекают линии составов пироксенов и «стремятся» к точке биотита. В петрохимическом отношении все они характеризуются постоянными относительными содержаниями магнезия и переменными соотношениями кальция и железа. Обращает на себя внимание различный уровень магнезиальности в разных трендах, что обуславливает субпараллельное положение последних на диаграмме.

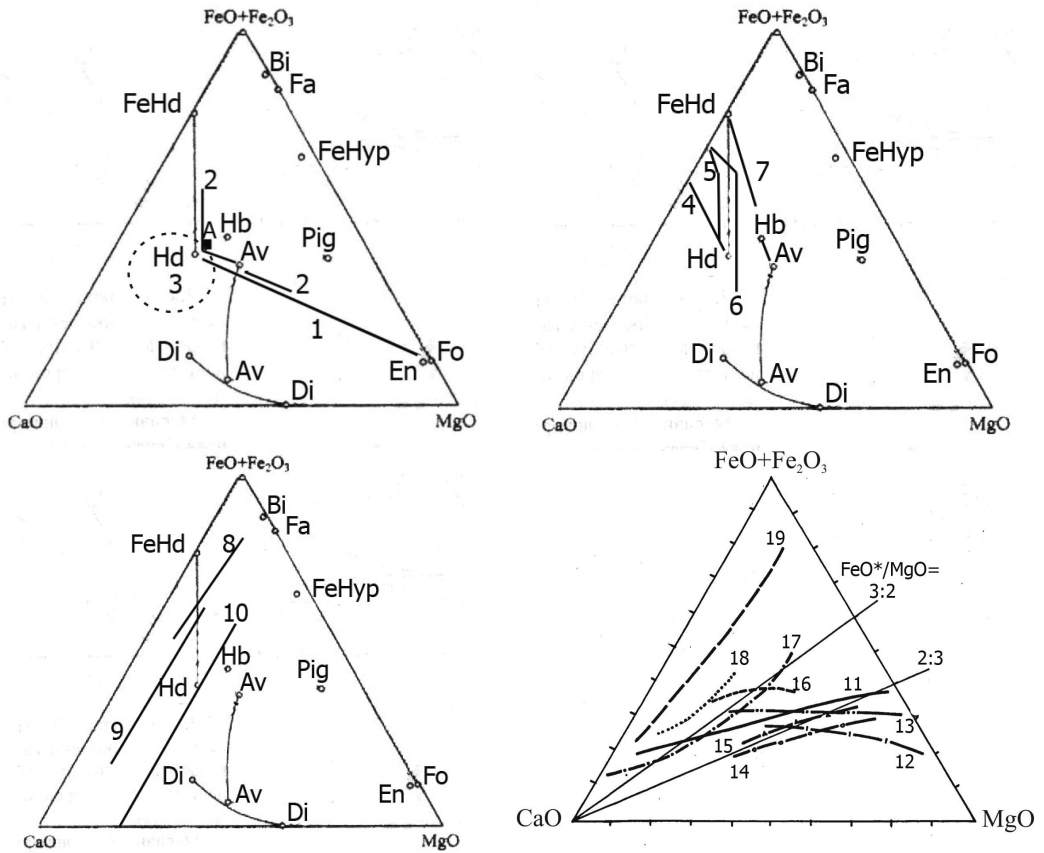


Рис. Положение трендов на диаграмме «железо — магний — кальций»:

Fo — форстерит; Fa — фаялит; En — энстатит; FeHyp — феррогиперстен; Pig — пихонит; Av — авгит; Di — диопсид; Hd — геденбергит; FeHd — феррогеденбергит; Hb — роговая обманка; Bi — биотит; A — андезит по Р. Дэли. Тренды: 1 — оливин-геденбергитовый; 2 — переходный от оливин-геденбергитового к геденбергитовому; 3 — поле плагиогранитодных ассоциаций. Геденбергитовые, авгит-геденбергитовые тренды: 4 — известково-щелочных ассоциаций; 5 — субщелочных базальтов, сиенит-габбровых ассоциаций; 6 — интрузивных траппов Сибири, вулканитов Исландии, монцонит-сиенитовых ассоциаций; 7 — щелочных базальтов Атлантики. Пироксен-биотитовые тренды: 8 — дацит-липаритовая, липаритовая, трахилипаритовая формации; 9 — щелочносиенитовых и фельдшпатоидносиенитовых ассоциаций; 10 — диорит-гранодиоритовой ассоциации, монцонит-сиенитовой Восточной Сибири. Оливин (ортопироксен)-плагиоклазовые тренды: расслоенные массивы 11 — таллаинского комплекса бассейна рю Витим; 12 — Кивакка (Карелия); 13 — Липовый Куст (Воронежский кристаллический массив); 14 — Брунган и Калбак-Даг (Тува); 15 — Ханга (Тува); 16 — Рыбинский (Кузнецкий Алатау), 17 — Булкинский (Алтае-Саянская область), 18 — Якутский (бас. Р. Витим), 19 — Чинейский (Восточная Сибирь)

В относительно небольшом количестве встречаются ассоциации, имеющие промежуточные тренды между выделенными группами (см. табл.).

Помимо перечисленных групп, обособливается группа ассоциаций, обладающих оливин (ортопироксен)-плагиоклазовыми трендами. Этому типу отвечают расслоенные массивы перидотит-пироксенит-норитовой, анортозитовой, габбро-анортозитовой формаций [4]. На рассматриваемой диаграмме тренды всех массивов начинаются на стороне треугольника «железо — магний», отвечающей составам оливина и ортопироксена, и протягиваются в сторону точки состава плагиоклазов (тренды 11—19 на рис.). Начальные точки трендов соответствуют разной

величине соотношений железа и магния (наибольшей магнезиальностью характеризуются габброиды Бушвельдского массива и анортозиты Анабарского щита, весьма близкие по этому параметру анортозитам Луны). В целом каждый тренд характеризуется примерно постоянным соотношением железа и магния, а дифференциация происходит за счет увеличения относительного количества кальция. В соответствии с направленностью тренда набор пород в расслоенных габброидных массивах варьирует от дунитов (или пироксенитов в случае отсутствия оливина) до плагиоклазитов при постоянном присутствии значительного количества габброноритов (в анортозитовых и габброанортозитовых массивах ведущей породной разновидностью являются, естественно, анортозиты и габброанортозиты, но габбронориты также являются обязательным членом таких формаций). Присутствие плагиоклазитов характерно только для этого тренда, в других трендах эти породы не возникают.

Таким образом, применение диаграммы «железо — магний — кальций» показало широкое распространение в природе конвергентных магматических ассоциаций, обладающих либо сходными наборами ведущих породных разновидностей (андезитовый формационный тип и андезитовая формация Закарпатья, монцонит-сиенитовый формационный тип и монцонит-сиенитовая формация Восточной Сибири), либо однотипным строением (расслоенные габброидные массивы), но соответствующих разным петрохимическим трендам (например, Великая Дайка в Родезии (теперь Зимбабве), считающаяся всеми исследователями формационным аналогом Бушвельдского массива, отвечает оливин-геденбергитовому тренду, а массив является типичным представителем оливин-плагиоклазового тренда). По нашим данным, степень расслоенности не зависит от тектонических условий и находится в прямой зависимости от количества порообразующих минералов, кристаллизующихся из расплава. В свою очередь, потенциальная металлоносность расслоенных массивов зависит от принадлежности последних к тому или иному типу трендов.

Не меньший интерес представляют случаи, когда разные тела заведомо одной магматической ассоциации обладают разными петрохимическими трендами. Наиболее отчетливо это проявляется в трапповых ассоциациях (разные тела траппов могут обладать переходными между I и II, II и III группами трендами (см. табл.). Вероятно, это связано с особенно большими объемами кристаллизующихся расплавов, дифференциация которых в разных магматических камерах могла протекать несколько различно.

Сопоставление перечней ассоциаций с их геотектоническим положением показывает, что ассоциации с оливин-геденбергитовым трендом дифференциации преимущественно связаны с начальными стадиями океанического магматизма или же с начальными стадиями заложения складчатых поясов на континентах, т.е. возникали в условиях горизонтального растяжения. Состав исходных расплавов их обсуждается [7], но сам характер трендов (от оливина до клинопироксена) и частое присутствие в разных ассоциациях пикритов позволяет присоединиться

к предположению о пикритовом характере расплавов. Ориентировочная глубина зарождения последних 20—80 км [7].

Ассоциации группы III с геденбергит-биотитовыми трендами изучавшие их исследователи относят к разным тектоническим этапам (позднегеосинклинальному, орогенному, автономной активизации), но все они имеют нечто общее — связь со структурами, несогласно наложенными на складчатое основание (вулканогенно-осадочными впадинами, вулканогенными и плутоническими поясами). Можно предположить, что при формировании этих ассоциаций доминировали контрастные вертикальные перемещения («глыбовая тектоника»). Средневзвешенные составы ряда таких ассоциаций, по нашим подсчетам, отвечают андезиту или его более щелочным гомологам. Вероятно, такой же состав имели и исходные расплавы.

Особый интерес представляет группа II, объединяющая, несмотря на сходство трендов, ассоциации разного геотектонического положения. Направленность трендов подтверждает общее мнение, что последние возникали из иных магматических источников по сравнению с ассоциациями группы I, но глубины их возникновения были различны. По существующим оценкам [7], расплавы вулканитов океанических островов возникают на глубинах 90—120 км, а известково-щелочных ассоциаций — 40—60 км. Объединяет их то, что в отличие от маловодных низкощелочных расплавов, соответствующих ассоциациям группы I, ассоциации группы II содержат большее количество щелочей и воды. Точка геденбергита, вблизи которой начинаются тренды этой группы, практически совпадает с точкой состава среднего андезита, по Р. Дэли. Поэтому можно утверждать, что исходные составы расплавов имели более кислый состав по сравнению с расплавами группы I и предположительно были близки базальтам или андезибазальтам. Для малоглубинных ассоциаций такое предположение представляется естественным. Любопытно, что по экспериментальным данным, на глубинах 100—150 км первыми из мантии должны выплавляться не базальты, а андезиты [5. С. 178].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Бородин Л.С.* Петрохимия магматических серий. — М.: Наука, 1967.
- [2] *Браун Д.М.* Проблема разнообразия изверженных горных пород // Эволюция изверженных пород. — М.: Мир, 1983. — С. 15—23.
- [3] *Кузнецов Ю.А.* Главные типы магматических формаций. — М.: Недра, 1964.
- [4] *Магматические формации СССР. Т. 1, 2 / Ред. В.Л. Масайтис.* — Ленинград: Недра, 1979.
- [5] *Саранчина Г.М., Шинкарев Н.Ф.* Петрология магматических и метаморфических пород. — Л.: Недра, 1973.
- [6] *Хьюджес Ч.* Петрология изверженных пород. — М.: Недра, 1988.
- [7] *Фролова Т.И., Бурикова И.А.* Магматические формации современных геотектонических обстановок. — М.: Изд. МГУ, 1997.

IRON, MAGNESIUM AND CALCIUM IN MAGMATIC ASSOCIATIONS

K.I. Sveshnikov

Engineering Faculty
Peoples' Friendship University of Russia
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

Petrochemical trends on the diagram «Iron — Magnesium — Calcium» for more than 100 geological objects (volcanic series, plutonic massives, magmatic formations) are considered. It was shown existing of four main types of trends — «olivine — hedenbergite», «hedenbergite — ferryhedenbergite», «hedenbergite — biotite», «olivine — plagioclase». Magmatic melts corresponding to these trends differed by composition and geodynamic position.

Key words: magmatic associations, petrochemical trends, magmatic melts, geodynamic position.