



МА́ГМА

Авторы: П. Ю. Плечов

МА́ГМА (греч. μάγμα – густая мазь) (магматический расплав), огненно-жидкая масса преим. силикатного состава, возникающая в глубинных условиях в результате плавления вещества земной коры или верхней мантии и образующая при остывании и кристаллизации *магматические горные породы*. Представляет собой смесь магматич. расплава, кристаллов и/или их сростков и газовой фазы. В вулканич. областях М., достигая земной поверхности, теряет растворённые летучие компоненты и превращается в *лаву*. Магматич. массы, кристаллизующиеся на глубине, образуют различные по форме и размерам интрузивные тела – от мелких даек (выполненные магмой трещины) до огромных массивов (площади горизонтальных сечений достигают мн. тысяч км²). Среди излившихся на поверхность *эффузивных горных пород* резко преобладают *базальты*, среди застывших на глубине *интрузивных горных пород* – граниты.

М. по химич. составу делятся на силикатные (наиболее распространены), карбонатные (более редкие, в них содержание карбонатов св. 50% по массе; в зависимости от минер. состава различают: кальцитовые, сидеритовые с бастнезитом и содовые, состоящие преим. из карбоната натрия), ещё реже встречающиеся фосфатные (с преобладанием в составе соединений фосфора), сульфидные (сильно обогащённые сульфидами серы) и т. д. Силикатные М. состоят из соединений Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, O, Ti, P и др. элементов. При высоких давлениях в них может быть растворено значит. количество летучих компонентов (вода, углекислый газ, фтор, хлор, соединения серы, углеводороды и др.). Силикатные М. аналогично магматич. горным породам подразделяются по содержанию SiO₂ (% по массе): на ультраосновные (< 45), основные (45–52), средние (52–65), кислые (> 65); по суммарному содержанию щелочных оксидов (Na₂O и K₂O) – на М. нормального ряда, субщелочные и щелочные. Среди этих групп преобладают М. нормального ряда основного (базальтовые) и кислого (риолитовые или гранитные) состава. Темп-ры большинства М. в земной коре находятся в пределах 600–1300 °С. Самые низкие темп-ры зафиксированы для натрокарбонатитовых М. (~ 450 °С), самые высокие – для коматиитовых и меймечитовых М. (1600–1650 °С). Вязкость магматич. расплавов варьирует от 1 до 10⁸ Па·с. Наименьшей вязкостью обладают высокотемпературные М. ультраосновного (перидотитовые) и основного (базальтовые) составов, наибольшей – кислые М. (риолитовые). М. базальтового состава изливаются в виде лавовых потоков, скорость перемещения которых достигает иногда 30 км/ч. Вязкая М. кислого состава (особенно после потери летучих компонентов) образует в жерлах вулканов экструзивные купола, реже – потоки; для неё характерны также взрывные извержения с образованием мощных толщ *игнимбритов*.

Различные по составу М. образуются за счёт плавления пород мантии и земной коры в результате трёх осн. механизмов: привноса тепла, уменьшения давления или привноса летучих компонентов (преим. воды). Состав М. зависит от состава субстрата и условий плавления. Мантийные М. имеют преим. ультраосновной и основной состав, коровые – кислый, все остальные представлены магматич. образованиями промежуточного среднего состава. Причиной нагрева пород мантии или коры может быть поступление тепла из более глубоких слоёв

Земли, накопление радиогенного тепла и др. Генерация М. за счёт прогрева верхней мантии мантейными плюмами из нижней мантии характерна для магматизма в горячих точках. Плавление за счёт уменьшения давления может происходить в зонах раздвижения литосферных плит (рифтовых зонах – под срединно-океанич. хребтами, с которыми связан интенсивный базальтовый вулканизм). Присутствие летучих компонентов, напр. водяного пара, существенно снижает темп-ру плавления горных пород. Образование М. за счёт привноса летучих компонентов в мантию характерно для зон столкновения (коллизии) и зон погружения (субдукции) одной плиты под другую – в областях островных дуг и окраин континентов. В этих зонах при прогреве опускающейся плиты осуществляется прогрессивный метаморфизм её пород, богатых водой (спилитов, серпентинитов и др.), и происходит выделение огромного количества летучих компонентов, которые поступают в вышележащую мантию и вызывают её частичное плавление.

Место генерации М. называют первичным магматич. очагом. М. из магматич. очага стремится подняться к поверхности вследствие своей подвижности и меньшей (по сравнению с вмещающими породами) плотности. При подъёме она может накапливаться на разл. глубине, формируя промежуточные магматич. очаги. Глубина первичных магматич. очагов срединно-океанич. хребтов океанов, континентальных рифтов и др. зон растяжения литосферы достаточно постоянна и составляет 50–60 км. В зонах сжатия, прежде всего в надсубдукционных вулканич. поясах, глубина магматич. очагов широко варьирует от 60 км и более до 20 км и менее. Обычно глубина промежуточных очагов уменьшается от более ранних этапов магматизма к более поздним. В магматич. очагах М. возникают при частичном плавлении ранее существовавших горных пород, при котором легкоплавкие жидкие фракции отделяются от нерасплавившегося твёрдого остатка (т. н. рестита). Степени плавления могут варьировать от нескольких процентов до 40–50% от объёма первоначальной породы, наиболее высокие значения зафиксированы для пород мантии при образовании коматиитов преим. в архейскую эру (4,5–2,5 млрд. лет назад).

При подъёме к поверхности или в магматич. очаге М., постепенно остывая, начинает кристаллизоваться. Сначала кристаллизуются минералы с наиболее высокой темп-рой кристаллизации, затем постепенно – с более низкой темп-рой кристаллизации. Нем. петрограф К. Г. Розенбуш (на основе наблюдений природных процессов) и амер. петролог Н. Л. Боуэн (в результате экспериментов) предложили общую последовательность кристаллизации, известную как ряд Боуэна: вначале кристаллизуются магнезиально-железистые безводные силикаты (оливин, ортопироксен, клинопироксен) и плагиоклазы основного состава, далее следуют роговая обманка и плагиоклазы среднего состава, а в конце процесса образуются биотит, щелочные полевые шпаты и кварц. Такая последовательность характерна для пород нормального ряда, кристаллизующихся при небольших давлениях и умеренных содержаниях летучих компонентов. В субщелочных и щелочных породах и при больших давлениях порядок кристаллизации может существенно отличаться.

Попадая в иные условия, чем те, в которых она генерировалась, М. может эволюционировать, меняя свой состав. Это приводит к образованию разных по минер. составу горных пород. Изменение состава М. происходит путём её дифференциации на разл. этапах кристаллизации, а также в результате взаимодействия с вмещающими породами и при смешении с М. более поздних генераций. Дифференциация М. может происходить до её кристаллизации (докристаллизационная) или в процессе кристаллизации (кристаллизационная), в промежуточном магматич. очаге (глубинная дифференциация) или на месте её застывания (внутрикамерная дифференциация). Установление в расплавах гравитац. равновесия может привести к дифференциации их

вещества по высоте. Общая тенденция такой дифференциации – обогащение SiO_2 , Al_2O_3 , CaO и щелочными оксидами верхних частей поднимающейся магматич. колонны и накопление MgO и FeO в нижних её частях (гравитац. дифференциация). Экспериментально и теоретически дифференциация обоснована Н. Л. Боуэном для базальтовой М. В процессе дифференциации под влиянием разл. факторов (напр., гравитац. осаждение или всплывание выделившихся из расплава кристаллов, перемещение их конвекционными потоками) происходит и пространственное обособление возникающих минер. фаз (фракционирование). Дифференциация М. осуществляется также в результате ликвации (разделения её на несмешивающиеся жидкости) и др. факторов. Изменение состава М. за счёт взаимодействия с вмещающими породами происходит при движении её по тонким трещинам и каналам, где она насыщается минералами вмещающих пород. Кроме этого, М. может разрушать стенки магматич. очагов и каналов, захватывая ксенолиты вмещающих пород, которые растворяются в ней полностью или частично ([ассимиляция](#), [контаминация](#)).

Порции М. могут отличаться по составу как от М. в приповерхностном очаге, так и друг от друга. При многократном поступлении в магматич. очаги новых порций М. происходит их смешение, что приводит к ещё большему разнообразию состава магматич. пород. В долгоживущих вулканич. центрах приповерхностные магматич. очаги периодически подпитываются порциями М., которые обеспечивают активность вулкана в течение мн. тысяч лет. При этом формируется магматич. питающая система, состоящая из области магмогенерации, области миграции М. и приповерхностных магматич. очагов. Области магмогенерации существуют за счёт факторов (напр., высокого теплового потока и/или потока летучих компонентов), создающих условия для постоянного или периодич. плавления горных пород.

Состав плавившихся пород, условия образования и внедрения М. в земную кору, кристаллизации и фракционирования определяют набор полезных компонентов, которые концентрируются при этих процессах и формируют [эндогенные месторождения](#) полезных ископаемых.

Литература

Лит.: Боуэн Н. Л. Эволюция изверженных пород. М. [и др.], 1934; Магматические горные породы. М., 1983–1984. Т. 1–2; Шкодзинский В. С. Фазовая эволюция магм и петрогенезис. М., 1985; Петрография и петрология магматических, метаморфических и метасоматических горных пород / Под ред. В. С. Попова, О. А. Богатикова. М., 2001.