

В. Н. ШАРАНОВ, В. Г. МЕЛАМЕД

О СООТНОШЕНИЯХ ВРЕМЕН ОХЛАЖДЕНИЯ ОЧАГОВ МАГМЫ И ПЕРЕМЕЩЕННЫХ ИЗ НИХ РАСПЛАВОВ

(Представлено академиком Ю. А. Кузнецовым 27 IV 1973)

Для теории рудообразования и петрологии существенным моментом исследования процессов магматизма является определение времен появления и «отмирания» очагов коровых магм, а также интродуцированных из них расплавов. Необходимая информация такого рода может быть получена путем математического моделирования магматогенных систем, если в решении задач динамики учесть следующие условия: 1) неоднородность физических свойств пород по разрезу коры; 2) неоднородное распределение температур от кровли очага магмы до поверхности; 3) влияние поверхности Земли на характер охлаждения магм.

Ниже приведены некоторые предварительные оценки интересующих нас времен магматических процессов. В решении задачи считалось, что имеется область, охватывающая пространство от поверхности Земли (начало отсчета пространственной координаты) до глубины H км. В этой области температура среды меняется от нуля при $H=0$ (поверхность Земли) до температуры T^* плавления (кристаллизации) пород по заданному закону. Область $0-H$ разбивается на ряд подобластей, где физические свойства одинаковы, но изменяются скачком при переходе от одной подобласти к другой. I. Подобласть $0-H_1$: глубина от 0 до 5 км, $\rho=2,5$ г/см³, $c=0,19$ кал/г·град, $\lambda=4 \cdot 10^{-3}$ кал/сек·см·град. II. Подобласть H_1-H_2 : глубина от 5 до 10 км, $\rho=2,6$ г/см³, $c=0,19$ кал/г·град, $\lambda=5 \cdot 10^{-3}$ кал/сек·см·град. III. Подобласть H_2-H_3 : глубина от 10 до 23 км, $\rho=2,8$ г/см³, $c=0,19$ кал/г·град, $\lambda=5,5 \cdot 10^{-3}$ кал/см·сек·град. В подобласти H_3-H располагается магматический очаг со свойствами среды: $\rho=2,4$ г/см³, $c=0,2$ кал/г·град, $\lambda=2 \cdot 10^{-3}$ кал/см·сек·град. После кристаллизации магмы образуются изверженные породы с физическими свойствами: $\rho=2,6$ г/см³; $c=0,2$ кал/г·град, $\lambda=5 \cdot 10^{-3}$ кал/см·сек·град. Из магматического очага на некоторую глубину от поверхности Земли «мгновенно» перемещается порция магмы, которая «замещает» располагавшуюся здесь ранее среду. Считаем, что существенного охлаждения магмы при интрузии не происходит и температура магмы в камере мало отличается от температуры магмы в очаге. Физические свойства расплава в очаге и камере идентичны, как и изверженных пород, возникающих при их затвердевании.

Начальное распределение температуры в магматической камере однородно и равно $T_0 > T^*$. В расчете принимается, что температуры кристаллизации T^* в очаге и камере одинаковы и не зависят от пространственной координаты. Стоки, возникающие при развитии реакции, в расчетах не учтены. Поправки такого рода легко ввести, если иметь в виду выявленные ранее закономерности⁽⁵⁻⁷⁾. Теплота кристаллизации магмы в камере и очаге считается одинаковой и равной 80 кал/г. Поэтому полученные результаты могут характеризовать условия кристаллизации расплавов, где относительное содержание эвтектики больше 50%⁽⁸⁾. Аналитическая формулировка задачи аналогична изложенной ранее^(2,4), поэтому она здесь опускается. Задача решалась с помощью АВМ ИГЛ-1 системы В. С. Лукьянова.

Наиболее существенные для дальнейших рассуждений данные расчетов показаны на рис. 1.

Сопоставление полученных данных с проведенными ранее (²⁻⁶) расчетами показывает, что полное время затвердевания крупных (1—5 км по вертикали при площади более 10 км²) интрузивов простой формы мало зависит от глубины их залегания. Близость поверхности Земли сказывается главным образом на соотношении скоростей нарастания коры в кровле и подошве интрузива. Поскольку время формирования многофазного интрузива аддитивно относительно отдельных его фаз (³), то в первом приближении расчет времени затвердевания тела, размеры которого соответствуют геометрическим параметрам многофазного плутона, позволяет указать возможную максимальную оценку продолжительности «чистого» времени становления такого плутона.

При оценке времени существования магматического очага необходимо иметь в виду, что оно по крайней мере не меньше продолжительности его возникновения и «отмирания». При палингенезе (²) времена разрастания очагов в коре, с учетом различных глубин их возникновения, размеров и действующего теплопотока, следующие: 1) глубины свыше 30 км 10—15 млн лет, 2) глубины порядка 30 км — меньше десяти млн лет, 3) глубины порядка 10 км — несколько миллионов лет при действии относительно больших теплопотоков. Если действуют весьма слабые потоки тепла, при которых, однако, возможно плавление и региональный метаморфизм на глубинах 30—20 км, то времена возникновения очагов возрастают в 2—3 раза. Если развитие процесса образования магматического очага происходит при наличии фильтрующегося потока летучих, то скорость разрастания очага может быть выше, чем при палингенезе, но это времена порядка нескольких миллионов лет (⁴). Таким образом, время образования очагов расплавления пород в земной коре, согласно нашим расчетам, колеблется в довольно широких пределах, охватывая отрезки времени от 1—7 до 30 млн лет в зависимости от глубины зарождения очага и механизма тепло- и массообмена в системе. Если времена возникновения магматических очагов колеблются достаточно широко, то времена их «отмирания» разнятся значительно меньше (см. рис. 1). Время «отмирания» очага магмы размером в 5—7 км происходит в течение 7—10 млн лет (см. рис. 1, а также расчет С. Шпмазу (⁵)).

Таким образом, минимальные времена существования крупных очагов расплавления в земной коре — порядка 10—15 млн лет, максимальные, по-видимому, до 30—40 млн лет.

Если сопоставить времена кристаллизации перемещенных из очага даже весьма крупных порций магматического расплава и «отмирания» самих очагов, размеры которых сопоставимы с величиной плутонов, то можно обнаружить, что они разнятся не менее чем на порядок. Так, если времена полной кристаллизации весьма крупных плутонов, вертикальный размер которых достигает 5 км, менее 0,3 млн лет, то кристаллизация того же объема магмы в очаге охватывает отрезок времени в 5—6 млн лет. Следовательно, времена перемещения и затвердевания механически выжатых из очага порций магмы весьма незначительны в сравнении с временами существования самих очагов. Поэтому исследования многофазных плутонов, которые проводят петрологи, позволяют выяснить закономерности изменения состава в очагах и даже, с некоторым приближением, не только

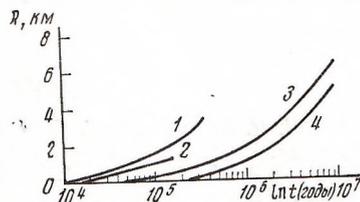


Рис. 1. Динамика перемещения фронта кристаллизации в интрузивах (1, 2) и магматических очагах (3, 4). 1, 2 — глубина от поверхности 2 км, мощность 5 км, температура затвердевания $T^* = 750^\circ$ при начальной температуре вмещающих пород $T_0 = 100^\circ$ (1) и $T_0 = 150^\circ$ (2); 3, 4 — $T_0 = 900^\circ$: 3 — кровля на глубине 10 км, $T^* = 800^\circ$, 4 — кровля на глубине 23 км, $T^* = 850^\circ$

направление их эволюции, но и время ее протекания. Действительно, если известны времена существования очага, а также времена и последовательность консолидации исторгнутых из него порций магмы, то нетрудно построить временную схему эволюции состава магмы в очаге с учетом процессов кристаллизации, протекающей в самом очаге.

Поступило
11 IV 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Н. Веригин, В. С. Голубев, В. Н. Шарапов, ДАН, т. 211, № 2 (1973). ² А. Н. Дударев, В. А. Кудрявцев и др., Теплообмен в магматогенных процессах, «Наука», 1972. ³ А. С. Калинин, А. А. Кошелев, А. И. Васильева, ДАН, т. 201, № 2 (1971). ⁴ В. Г. Меламед, В. Н. Шарапов, ДАН, т. 202, № 4 (1972). ⁵ В. Г. Меламед, В. В. Ревердатто, В. Н. Шарапов, ДАН, т. 200, № 4 (1971). ⁶ В. Н. Шарапов, В. Г. Меламед, Геология и геофизика, № 6 (1966). ⁷ V. V. Reverdatto, V. N. Sharapov, V. G. Melamed, Contr. Mineral. and Petrol., v. 29, № 4 (1970). ⁸ J. Shimazu, J. Earth Sci. Nagoya Univ., v. 9, № 2 (1961).