

## К ВОПРОСУ РУДООБРАЗОВАНИЯ СКАНДИЯ ПРИ ЛИКВАЦИИ СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВОВ

В.К. Черепанова<sup>1,2</sup>, А.Н. Черепанов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт теоретической и прикладной механики  
им. С.А. Христиановича СО РАН, 630090, Новосибирск, Россия*

<sup>2</sup>*Новосибирский государственный технический университет,  
630073, Новосибирск, Россия*

Ликвация силикатных магматических расплавов может приводить к формированию минеральных отложений редкоземельных элементов. Особый интерес среди них представляет скандий, как элемент почти не имеющий собственных промышленных месторождений. Авторами на примере квазибинарной системы  $\text{SiO}_2 - \text{Sc}_2\text{O}_3$  рассмотрен процесс охлаждения и последующего затвердевания ликвирующего силикатного расплава в интрузивной камере. При этом за основу были взяты идеи, ранее успешно реализованные для системы  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4 - \text{FeS}$  [1, 2].

По достижении температуры ликвации в системе происходит расслоение, то есть исходная гомогенная жидкость распадается на две жидкие фазы: матричную ( $\text{SiO}_2$ ) и примесную ( $\text{Sc}_2\text{O}_3$ ), представленную в виде однородно распределенных капелек (рис. 1). В рассматриваемой квазибинарной системе  $\text{SiO}_2 - \text{Sc}_2\text{O}_3$  плотность второй жидкости больше, чем первой. Поэтому в зависимости от положения в магматической камере рассматриваемых областей расплава, примыкающих к нижнему или верхнему контакту с вмещающей породой, каплевидные включения второй фазы будут двигаться либо навстречу фронту кристаллизации первичной (матричной) жидкости, либо вглубь массива. Соответственно, эти капли могут расти, попадая в более холодную, а значит имеющую большее пересыщение, область расплава, или, в противном случае, растворяться.

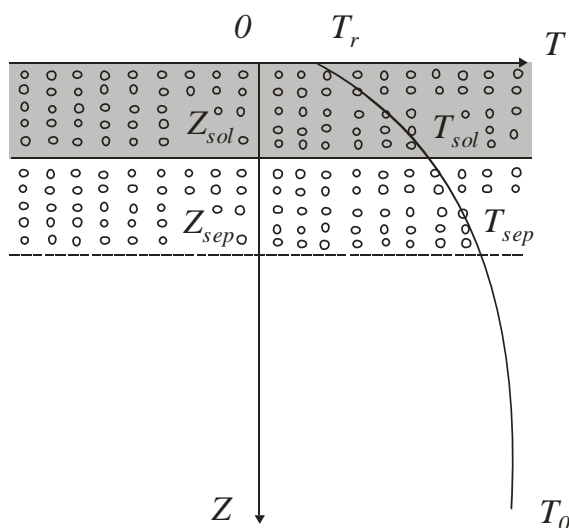


Рис. 1. Схема затвердевания полуограниченного массива магмы с областью ликвации расплава.  $Z_{sep}$  – координата фронта расслоения,  $Z_{sol}$  – координата фронта затвердевания,  $T_{sol}$  – температура затвердевания первой (матричной) жидкости,  $T_{sep}$  – температура расслоения,  $T_r$  – температура вмещающей породы,  $T_0$  – исходная температура расплава.

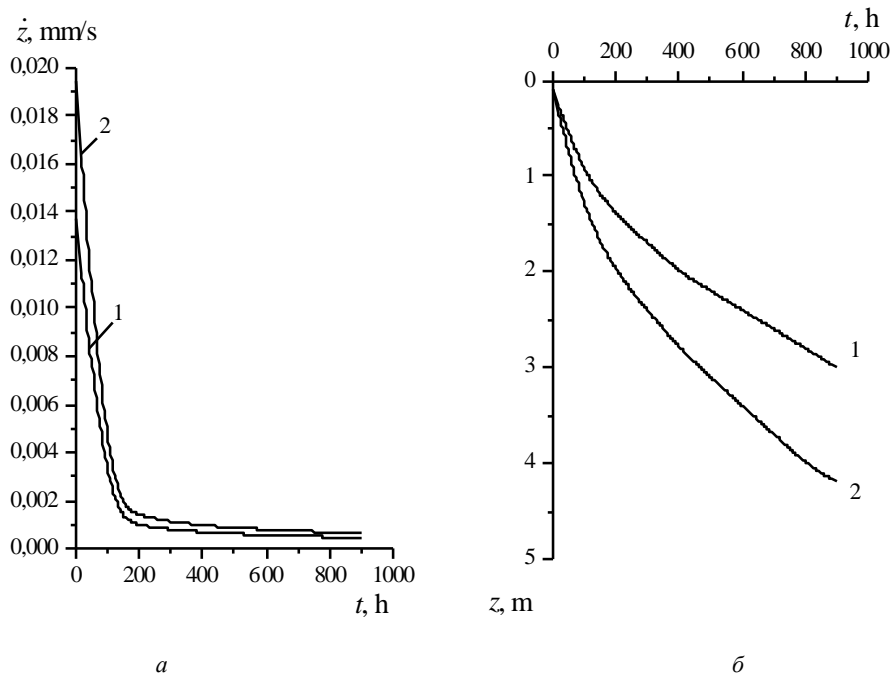


Рис. 2. Зависимость скоростей фронтов кристаллизации  $\dot{Z}_{sol}$  (кривая 1) и расслоения  $\dot{Z}_{sep}$  (кривая 2) (а) и координат фронтов кристаллизации  $Z_{sol}$  (кривая 1) и расслоения  $Z_{sep}$  (кривая 2) (б) от времени в квазибинарной системе  $\text{SiO}_2 - \text{Sc}_2\text{O}_3$ .

Пусть ликвирующий магматический расплав занимает полуограниченный горизонтальный массив, который либо внизу, либо сверху контактирует с более холодной вмещающей породой. В результате теплообмена на их контакте в системе идет процесс охлаждения и последующего затвердевания, фронт кристаллизации при этом движется вглубь массива (см. рис. 1).

Авторами предложена математическая модель сопряженного перемещения фазовых фронтов в такой системе, имеющая автомодельное решение. На его основе определены скорости перемещения фронтов (рис. 2а) и ширина области расслоения (рис. 2б). Полученные результаты позволяют теперь перейти к задаче собственно расслоения и формирования капель второй фазы внутри матричного расплава, а также количественно оценить условия захвата этих капель фронтом затвердевания.

Для решения задачи ликвации расплава использована физико-математическая модель флуктуационного зарождения и диффузионного роста дисперсных капель примесной фазы. Это позволило получить количественные оценки размеров и количества включений в единице объема затвердевшей породы в зависимости от условий затвердевания и исходного состава расплава (рис. 3).

Далее, чтобы рассчитать скорость движения капли в матричном расплаве, был использован подход, основанный на соотношении сил тяжести, Архимеда, Стокса и силы расклинивающего давления, действующих на частицу. Таким образом удалось определить условия захвата капель фронтом затвердевания с учетом эффекта смачивания.

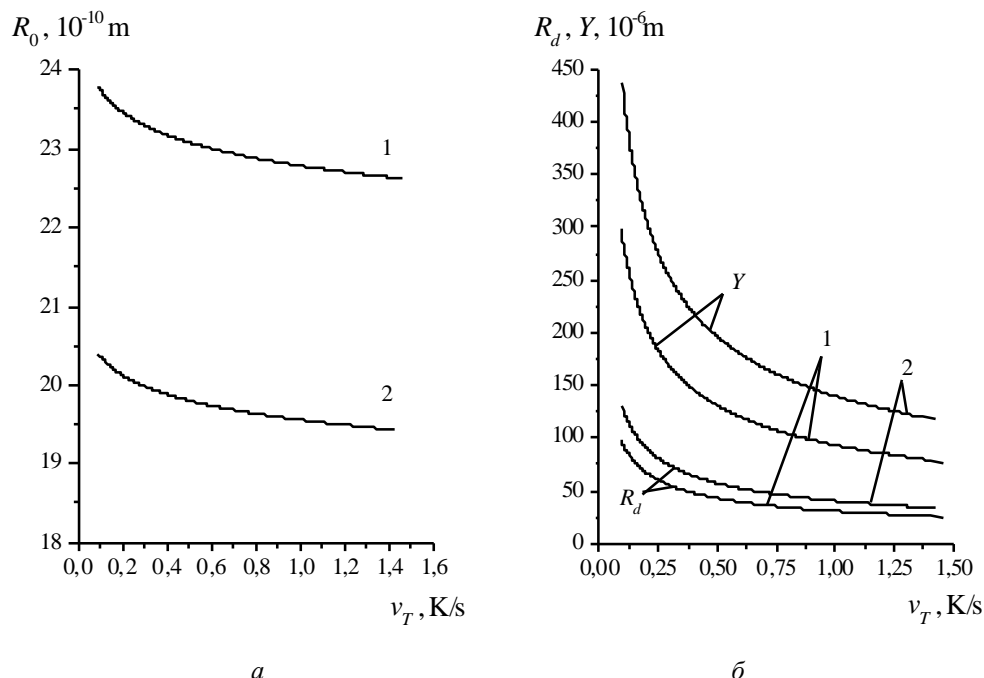


Рис. 3. Зависимость начального радиуса зародыша  $R_0$  (а), конечного размера жидкой частицы  $R_d$  и расстояния между центрами капель  $Y$  (б) от скорости охлаждения  $v_T$  в системе  $\text{SiO}_2 - \text{Sc}_2\text{O}_3$  при  $\sigma_{L_1L_2} = 0,05 \text{ Н/м}$  (1),  $\sigma_{L_1L_2} = 0,07 \text{ Н/м}$  (2).

Предложенная математическая модель позволяет рассчитывать размеры и количество включений в единице объема затвердевшей породы в зависимости от условий затвердевания и исходного состава расплава. При этом определяющую роль играет скорость кристаллизации магмы и в меньшей степени это зависит от характера смачивания поверхности растущих кристаллов. Опираясь на результаты расчетов, можно предполагать, что на начальном этапе охлаждения системы будет происходить захват мелких ( $\sim 10^{-9}$  м) жидких включений второй фазы ( $\text{Sc}_2\text{O}_3$ ) фронтом затвердевания матричной жидкости ( $\text{SiO}_2$ ). После выхода процесса затвердевания на квазистационарный режим размер жидких включений второй фазы, сформировавшихся за счет диффузионных процессов, будет возрастать до величины порядка  $2 \cdot 10^{-4}$  м. При дальнейшем охлаждении системы такие включения закристаллизуются по достижении своей температуры затвердевания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шарпов В.Н., Черепанов А.Н., Черепанова В.К., Жмодик А.С. К динамике роста капель рудных расплавов в охлаждающейся базитовой жидкости // Геохимия. 2000. № 12. С. 1294 – 1304.
2. Черепанов А.Н., Черепанова В.К., Шарпов В.Н. Динамика фронтов кристаллизации, ликвирования и кипения у верхнего контакта плоских интрузивных тел // Доклады АН. 2004. Т. 396. № 4. С. 535 – 540.