

К ВОПРОСУ РУДООБРАЗОВАНИЯ СКАНДИЯ ПРИ ЛИКВАЦИИ СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВОВ

В.К. Черепанова^{1,2}, А.Н. Черепанов¹

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

²*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 (SiO_2) и примесную (Sc_2O_3), представленную в виде однородно распределенных капель (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.

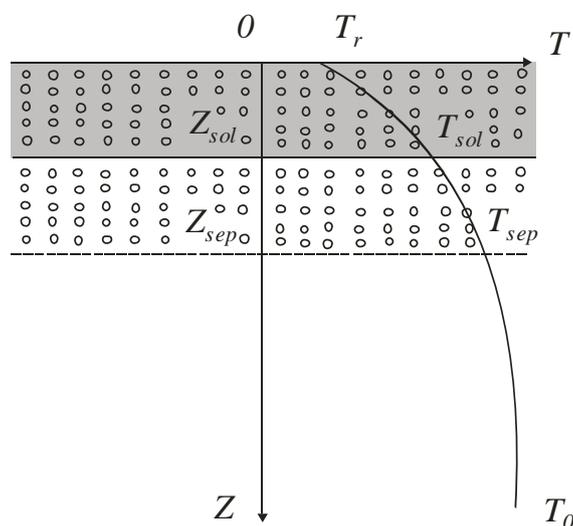


Рис. 1. Схема затвердевания полуограниченного массива магмы с областью ликвации расплава. Z_{sep} – координата фронта расслоения, Z_{sol} – координата фронта затвердевания, T_{sol} – температура затвердевания первой (матричной) жидкости, T_{sep} – температура расслоения, T_r – температура вмещающей породы,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

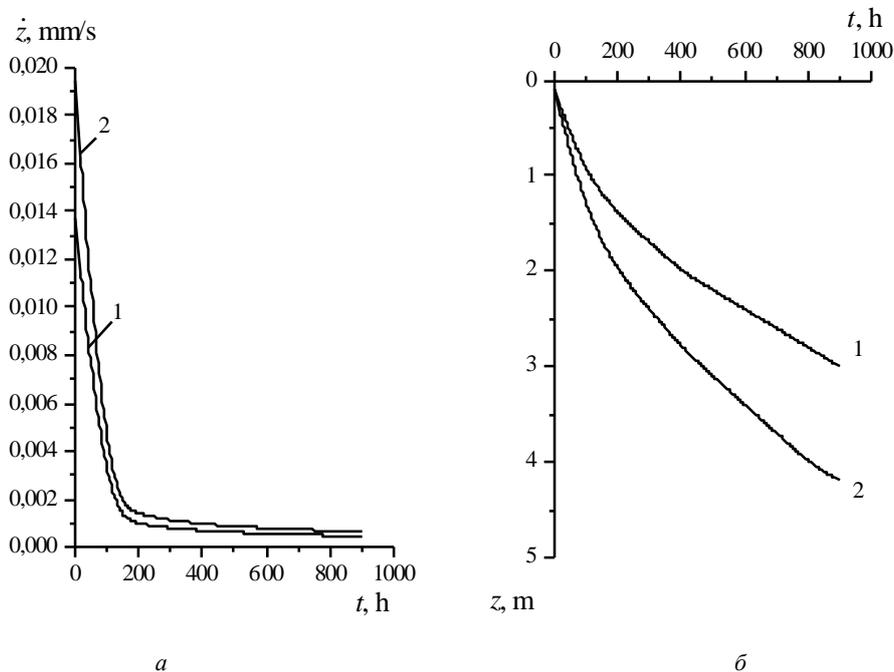


Рис. 2. Зависимость скоростей фронтов кристаллизации \dot{Z}_{sol} (кривая 1) и расслоения \dot{Z}_{sep} (кривая 2) (а) и координат фронтов кристаллизации Z_{sol} (кривая 1) и расслоения Z_{sep} (кривая 2) (б) от времени в квазибинарной системе $\text{SiO}_2 - \text{Sc}_2\text{O}_3$.

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.

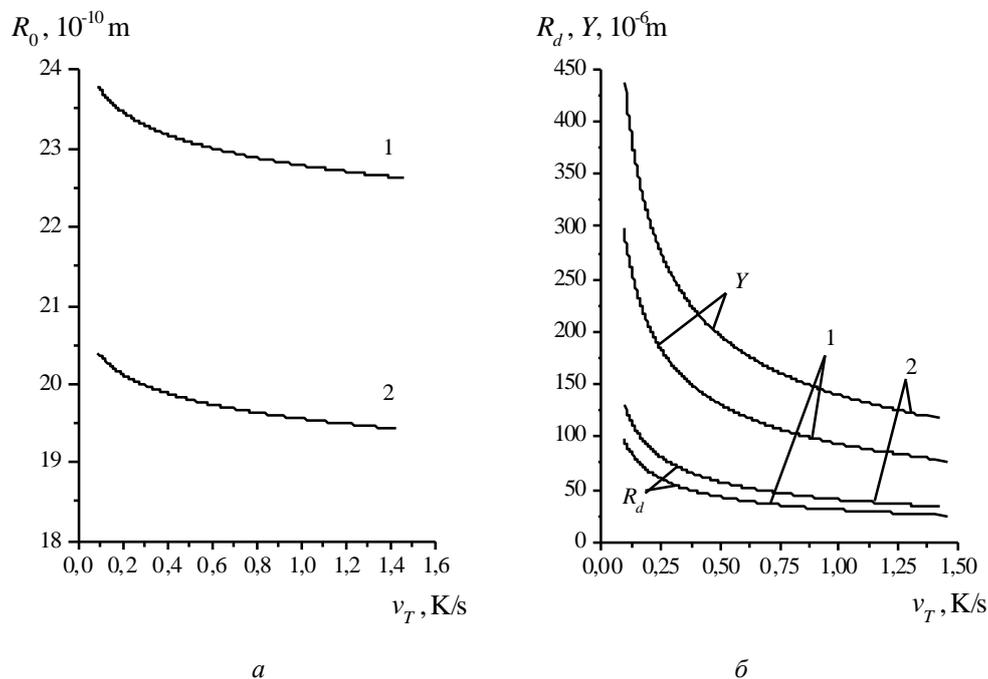


Рис. 3. Зависимость начального радиуса зародыша R_0 (а), конечного размера жидкой частицы R_d и расстояния между центрами капель Y (б) от скорости охлаждения v_T в системе $\text{SiO}_2 - \text{Sc}_2\text{O}_3$ при $\sigma_{L_1L_2} = 0,05 \text{ Н/м}$ (1), $\sigma_{L_1L_2} = 0,07 \text{ Н/м}$ (2).

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 (Sc_2O_3) фронтом затвердевания матричной жидкости (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.