

УДК 551.21+550.4

Проявления диффузии в оливинах вулкана Шивелуч

Б.Н. Гордейчик^{1,2}, Т.Г. Чурикова^{2,3}, А. Кронц²,
К. Зундермейер², А.Г. Симакин¹, Г. Вёрнер²

¹ Институт экспериментальной минералогии РАН,
Черноголовка, Россия. gordei@mail.ru

² Отделение геохимии Центра наук о Земле, Гёттингенский
университет, Германия

³ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский, Россия

Ключевые слова: Камчатка, Шивелуч, субдукция,
магматизм, оливин

В вулканологии существует понимание процессов, происходящих перед извержением, но, вопрос о том, как быстро магмы могут пройти от мантийного источника к поверхности, остается открытым. Опишем здесь, следуя (Gordeychik et al., 2018), оценки времени нахождения магмы в камере и времени подъема магмы для высоко-Mg средне-Mg андезибазальтов Шивелуча возраста 7600 ¹⁴C лет. Состав оливинов измерялся микроанализатором JEOL JXA 8900RL, а ориентация осей – микроскопом Quanta 200F с EBSD модулем в Геттингенском университете.

Оливины показывают различную зональность для Fo и Ni: нормальную, обратную и сложную повторяющуюся, рис. 1.

Схема эволюции оливинов показана на рис. 2.

1. В высоко-Mg высоко-Ni расплаве формируются однородные оливины.

2. Оливины попадают в менее основной расплав. Оливины, в которых диффузия не затронула центральную часть, формируют группу 1. Уравновесившиеся с расплавом оливины формируют группу 4. В промежуточных группах 2 и 3 процесс диффузии в разной степени затронул центры оливинов.

3. Оливины попадают в горячий расплав и частично растворяются.

4. По мере уменьшения температуры начинается обрастание оливинов высоко-Mg оболочками, с падением форстерита к кромке.

5. Начинается диффузия в обросшей оболочке и между ядром и оболочкой.

Исследуемые оливины позволяют описать три различных проявления диффузии: (1) диффузия в ядрах на ранней стадии, когда сглажены краевые части кристаллов, а величины Fo и Ni в центрах сохраняются; (2) глубокая диффузия, когда Fo и Ni в центрах ядер уменьшаются; (3) диффузия между ядром и обросшей оболочкой кристалла.

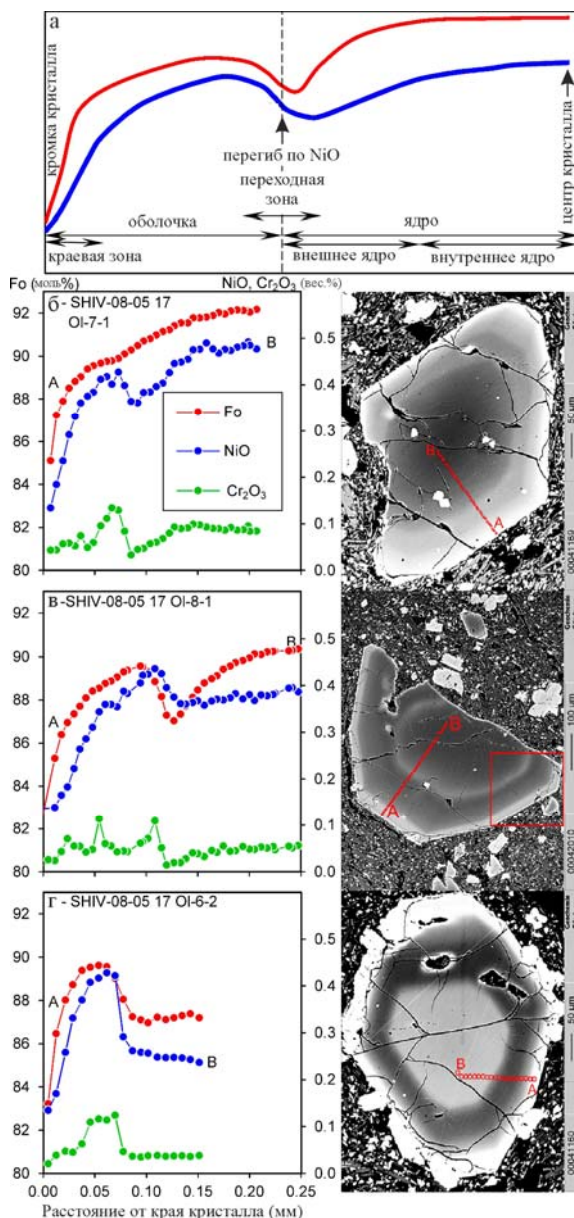


Рис. 1 – (а) используемые термины. (б-г) профили Fo, NiO и Cr₂O₃, а также BSE-изображения для трех характерных кристаллов оливина. Положение профилей на изображениях отмечено красными кружками, которые соответствуют точкам измерений. Начало каждого профиля на краю кристалла отмечено символом А, отсюда же указано расстояние на горизонтальной оси графиков. Конец профиля в центре кристалла отмечен символом В. На графиках Fo нарисован красным цветом и относится к левой оси, концентрации NiO нарисованы синим, а Cr₂O₃ – зеленым и относятся к правой оси.

Для каждого из проявлений диффузии выполнялись оценки времени действия на нескольких кристаллах. Для оценки времени действия диффузии на ранней стадии и времени действия диффузии между ядром и оболочкой использовалось решение задачи о диффузии в полубесконечном пространстве, для глубокой диффузии использовалось решение задачи о диффузии в шаре.

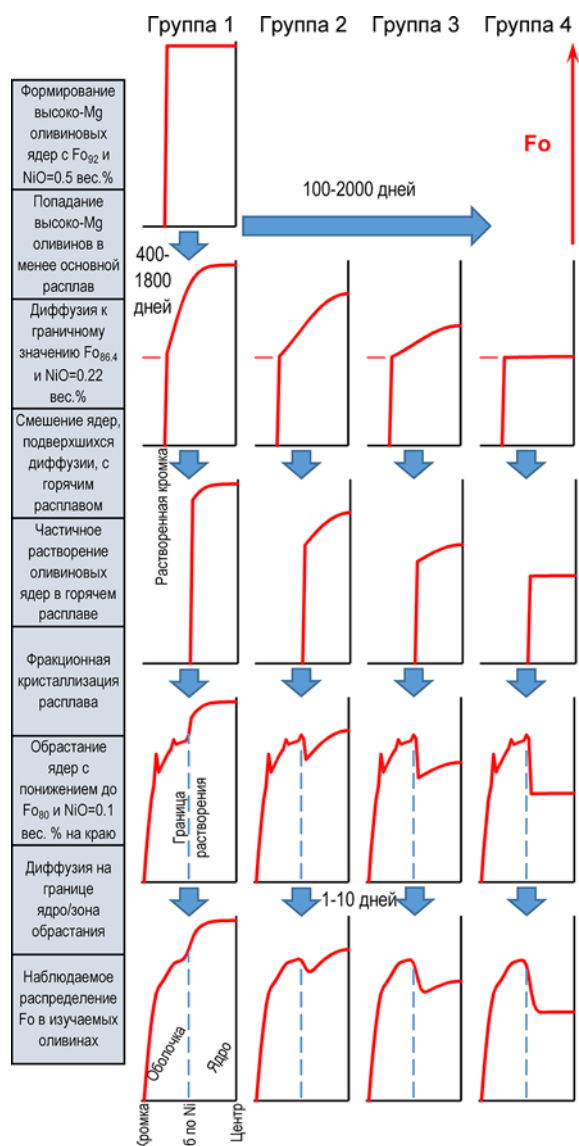


Рис. 2 – История образования изучаемых оливинов. Оливины представлены в виде распределений форстерита. Синие стрелки показывают переход от одного распределения форстерита в оливине к другому. В комментариях слева даются характеристики каждого распределения и причины, их вызывающие.

На рис. 3 показана частотная диаграмма для времен действия каждого из проявлений диффузии: диффузия на ранней стадии – 400-1800 дней; глубокая диффузия – 100-2000 дней; диффузия между ядром и оболочкой – 1-10 дней. Все три проявления диффузии работают при мантийных условиях, что доказывается высокой магнезиальностью рассматриваемых оливинов и высокой магнезиальностью расплава.

Изучаемые оливиновые ядра эволюционировали в мантии относительно длительное время перед извержением – 100-2000 дней. Смещение контрастных порций расплава происходит уже на мантийном уровне. Роль

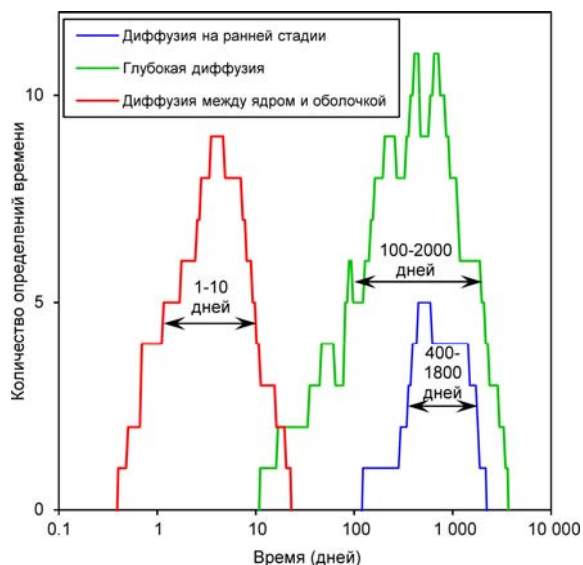


Рис. 3 – Частотная диаграмма времен действия различных проявлений диффузии: диффузия на ранней стадии – синяя линия; глубокая диффузия – зеленая линия; диффузия между ядром и оболочкой – красная линия. Диапазоны времени диффузии определены на половине высоты распределений.

диффузии в оливине может быть гораздо шире имеющихся представлений: диффузия может не только хранить информацию о времени событий, она может стирать мантийные признаки кристаллов и создавать новые геохимические тренды. Весьма малое, не встречавшееся ранее в литературе, время подъема оливинов от мантийного уровня до поверхности (1-10 дней) позволило оливинам сохранить необычную зональность как по Ni, так и по Fo.

Таким образом, процессы роста кристаллов, их смешения и диффузии на пути от мантийного источника к поверхности могут быть очень сложными (см. полную историю оливинов на рис. 2) и время подъема от мантийного источника к поверхности может быть очень небольшим – в пределах нескольких дней. Эти обстоятельства необходимо учитывать при построении моделей эволюции магмы.

Благодарности

Работа поддерживалась Немецким научно-исследовательским обществом, грант Wo 362/51-1, и Российским фондом фундаментальных исследований, гранты 16-55-12040 и 17-55-50005.

Список литературы

Gordeychik, B., Churikova, T., Kronz, A., Sundermeyer, C., Simakin, A., & Wörner, G. (2018). Growth of, and diffusion in, olivine in ultra-fast ascending basalt magmas from Shiveluch volcano. *Sci. Rep.*, 8(11775), 1-15. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-30133-1>.