



**ДЕВЯТАЯ  
ВСЕРОССИЙСКАЯ  
НАУЧНАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ  
С МЕЖДУНАРОДНЫМ  
УЧАСТИЕМ**

**«ВУЛКАНИЗМ,  
БИОСФЕРА  
И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ  
ПРОБЛЕМЫ»**

**СБОРНИК  
МАТЕРИАЛОВ**

Майкоп – Краснодар – Туапсе  
2018

ФГБОУ ВО АДЫГЕЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ, г. МАЙКОП  
ФГБОУ ВО КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ,  
г. КРАСНОДАР  
АКАДЕМИЯ НАУК ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ, г. ГРОЗНЫЙ  
ИНСТИТУТ ВУЛКАНОЛОГИИ И СЕЙСМОЛОГИИ ДВО РАН,  
г. ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКИЙ  
ИНСТИТУТ СЕЙСМОЛОГИИ И ГЕОДИНАМИКИ ФГБОУ ВО КРЫМСКИЙ  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.И. ВЕРНАДСКОГО, г. СИМФЕРОПОЛЬ  
АО УГРК "УРАНЦВЕТМЕТ", г. МОСКВА

**ДЕВЯТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ**

**«ВУЛКАНИЗМ,  
БИОСФЕРА И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ  
ПРОБЛЕМЫ»**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ**



Майкоп – Краснодар – Туапсе  
2018

15. Sun Shen-su, McDonough W.F. Chemical and Isotopic Systematics of oceanic basalts: implications for Mantle Composition and Processes // Magmatism in the Ocean Basins Spec. Publ. Vol. Geol. Soc. London. 1989. № 42. P. 313–345.

## **РОСТ И ДИФфуЗИЯ В ОЛИВИНАХ СВЕРХБЫСТРО ПОДНИМАЮЩИХСЯ БАЗАЛЬТОВЫХ МАГМ ВУЛКАНА ШИВЕЛУЧ**

**ГОРДЕЙЧИК Б.Н.<sup>1,2</sup>, ЧУРИКОВА Т.Г.<sup>2,3</sup>, КРОНЦ А.<sup>2</sup>,  
ЗУНДЕРМЕЙЕР К.<sup>2</sup>, СИМАКИН А.Г.<sup>1</sup>, ВЁРНЕР Г.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка, gordei@mail.ru*

<sup>2</sup> *Отделение геохимии Центра наук о Земле  
Гёттингенского университета, Гёттинген*

<sup>3</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский*

Известно, что перед извержением магматический расплав претерпевает серию процессов, изменяющих его первоначальный состав, в т. ч. дифференциацию, смешение, ассимиляцию. В последнее десятилетие проводились интенсивные исследования, направленные на изучение скоростей этих процессов, то есть на понимание характерных времён кристаллизации расплава, его нахождения в магматическом очаге, перемешивания с другими порциями магмы и извержения на поверхность. Много публикаций было посвящено диффузионной зональности в оливине, так как этот минерал обычно является первой кристаллизующейся фазой и несёт важную информацию о составе первичных мантийных расплавов, их источниках и последующей эволюции. Однако, вопрос о том, как быстро магмы проходят всю толщу коры от глубинного мантийного источника к поверхности, остаётся сложным. Процессы охлаждения, кристаллизации, смешения магмы в коре скрывают связь между формированием порции мантийной магмы на глубине и её извержением на поверхность. В процессе подъёма магмы быстрая диффузия Fe, Mg и Ni стирает первичное распределение химических элементов внутри оливинов. Согласно единичным оценкам, в субдукционной обстановке мантийные магмы могут поступать к поверхности в течение 100 суток – несколько лет.

Камчатка является одним из наиболее активных вулканических районов мира и, в частности, удобной вулканической дугой для изучения скорости подъёма магмы от источника к поверхности, что связано с обилием лав основного состава, содержащих фенокристаллы высоко-Mg оливинов. Для определения времени нахождения магмы в магматической камере и времени подъёма магмы к поверхности в работе [1] изучаются высоко-Mg умеренно-K андезит-базальты вулкана Шивелуч, одного из наиболее активных вулканов Камчатки, расположенного в Центральной Камчатской депрессии, вблизи северной границы Тихоокеанской плиты, погружающейся под Камчатку. В голоцене вулкан Шивелуч в основном извергал высоко-Mg андезиты. Однако, выполненные ранее тефрохронологические исследования показали два примечательных слоя высоко-Mg базальтовой и андезитбазальтовой тефры с возрастными 3600 и 7600 <sup>14</sup>C л. н. соответственно. Изучаемые здесь образцы относятся к туфовому

кольцу, которое находится на южном окончании Байдарного отрога и имеет возраст 7600 лет. Умеренно-К породы туфового кольца представлены песком, гравием, лапилли и чёрными вулканическими бомбами слабо-вспененного OI-Crx-Pl андезибазальта с  $Mg\# = 64-65$ , с большими (до 2–8 мм) оливковыми зёрнами и содержащими шпинелевые включения размером до 0,05 мм.

Оливины показывают сложные зональности как для форстерита, так и для никеля: нормальную, обратную и повторяющуюся (рис. 1), указывая на различные истории роста и диффузии в оливинах. Рис. 1а показывает набор терминов, которые используются нами в настоящем исследовании. *Ядро* располагается от центра кристалла до точки *перегиба по Ni*. *Оболочка* располагается от перегиба по Ni до *кромки* кристалла. Ядро можно разделить на *внутреннее* со слабо меняющимися химическими параметрами и на *внешнее* с крутыми градиентами концентраций химических элементов. Вокруг перегиба по никелю, то есть на границе между ядром и оболочкой, располагается *переходная зона*. На краю оболочки рядом с кромкой кристалла находится область резких изменений параметров – *краевая зона*.

Исучаемые оливины позволяют описать три различных проявления диффузии: (1) диффузия внешних ядер, которая действовала на крайевые части кристаллов, при этом значения форстерита и никеля в центрах ядер сохранялись; (2) глубокая диффузия, действие которой достигало центров кристаллов, в результате чего Fe и Ni в центрах ядер уменьшались; (3) диффузия между ядром и выросшей оболочкой кристалла. Хотя для описаний диффузии внешних ядер и глубокой диффузии используются различные математические решения, следует понимать, что речь идёт об одном и том же процессе: когда крупные кристаллы испытывают диффузию внешних ядер, то кристаллы меньшего размера за это же время могут испытать глубокую диффузию, а ещё более мелкие кристаллы за это же время могут полностью уравновесить свой состав с окружающим расплавом. Поэтому оценки времени, полученные для крупных кристаллов в приближении диффузии внешних ядер, и оценки времени, полученные в приближении глубокой диффузии для других кристаллов, оказываются близки друг другу.

Для оценки времени действия диффузии внешних ядер и времени действия диффузии между ядром и оболочкой использовалось аналитическое решение задачи о диффузии в полу-бесконечном пространстве. Для оценки времени действия глубокой диффузии использовалось аналитическое решение задачи о диффузии в шаре.

Для каждого из проявлений диффузии выполнялись оценки времени действия на нескольких кристаллах. На рис. 2 показана частотная диаграмма для определений времени действия каждого из проявлений диффузии: диффузия внешних ядер – 400–1800 суток; глубокая диффузия – 100–2000 суток; диффузия между ядром и оболочкой – 1–10 суток. Все три проявления диффузии действовали при мантийных условиях, что доказывается высокой магнезиальностью рассматриваемых оливинов и высокой магнезиальностью расплава.

Для удобства описания эволюции оливинов их можно разделить на 4 группы: от высоко-Mg и высоко-Ni группы 1 до низко-Mg и низко-Ni группы 4. Формирование этих четырёх групп оливинов, их последовательные этапы роста и эволюции показаны на рис. 3.

1. Оливиновые ядра сформировались из высоко-Mg высоко-Ni расплава и первоначально имели однородный состав по форстериту и никелю –  $Fo_{92}$  и  $NiO \sim 0,5$  вес. % (рис. 3а). Такие однородные по составу оливины образуются при их длительном нахождении в расплаве постоянного состава.

2. Эти кристаллы оливина попали в менее основной расплав, в котором они в различной степени испытали действие диффузии в направлении к равновесным значениям  $Fo_{86}$  и  $NiO \sim 0,2$  вес. % (рис. 3б). Когда процесс диффузии не достиг центра кристалла, образовались оливины группы 1. Если внутренние ядра оливинов испытали действие диффузии так, что форстерит и никель уменьшались, то образовались оливины групп 2 и 3. Кристаллы оливина из группы 4 полностью уравновешены с низко-Mg расплавом и для них определить время действия диффузии не представляется возможным.

3. Следующим событием в истории оливинов стало смешение с новым высоко-Mg и высоко-Ni расплавом. Из-за высокой температуры расплава ядра были частично оплавлены, границы плавления отчётливо видны в шлифах и

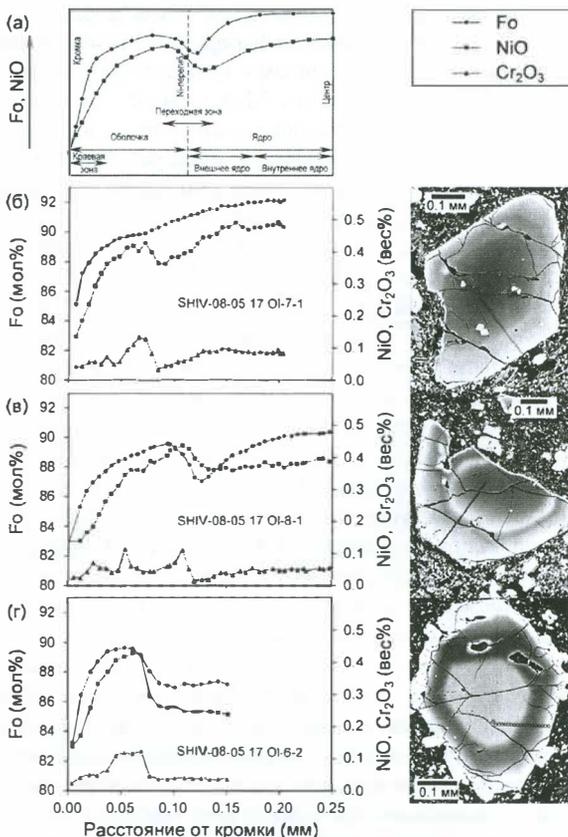


Рис. 1. (а) – используемые термины. (б-г) – профили Fo, NiO и  $Cr_2O_3$ , а также BSE-изображения для трех характерных кристаллов оливина. Профили на изображениях отмечены кружками, соответствующими точкам измерений. На графиках Fo относится к левой оси, концентрации NiO и  $Cr_2O_3$  относятся к правой оси.

совпадают с Ni-перегибом (рис. 3в).

4. Последующее охлаждение расплава привело к кристаллизации высоко-Mg и высоко-Ni оливиновых оболочек вокруг зоны плавления (рис. 3г). Таким образом, на этом этапе отчётливо видно, как вокруг различных, возникших в результате разной степени действия диффузии, ядер образовались одинаковые оболочки. Кристаллизующийся оливин в этой зоне обогащён по  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  до 0,3–0,4 вес. %. При дальнейшей кристаллизации форстерит падал до значения 80 на кромке кристалла, а в краевой зоне формировались концентрические осциллирующие по концентрациям зоны медленно диффундирующих элементов (Cr, Al, P), причём концентрации элементов коррелируют друг с другом. Вероятной причиной образования этих зон являются кинетические эффекты, возникающие во время быстрого роста кристаллов.

5. В то время как Cr, Al и P показывают осциллирующие зоны роста в оболочке, распределения Fe и NiO в переходной зоне частично сглаживались диффузией в течение времени, прошедшего после обрастания оливиновых кристаллов оболочками (рис. 3д). Продолжительность последней стадии роста и диффузии составляет всего лишь 1–10 суток (рис. 2). Это очень короткое время между последним событием смешения, вызвавшего рост оболочек оливина и извержением на поверхность.

Таким образом, высоко-Mg высоко-Ni оболочки оливиновых кристаллов образовались лишь за несколько суток до извержения. Вероятнее всего, само извержение и было спровоцировано событием смешения, в результате которого оливины испытали плавление с последующим обрастанием. Состав несущей породы имеет Mg# = 64–65, т. е. близок к мантийному расплаву, из чего следует, что все рассматриваемые события происходили на мантийном уровне на глубинах 18–30 км. Поэтому подъём с таких глубин в течение 1–10 суток предполагает скорость от 80 до 1200 м/ч. Напротив, образование исходных оливиновых кристаллов (рис. 3а), их нахождение в магме, смешение с низко-Mg порциями магмы и последующая диффузия происходили на мантийных глубинах от 100 до 2000 суток до извержения.

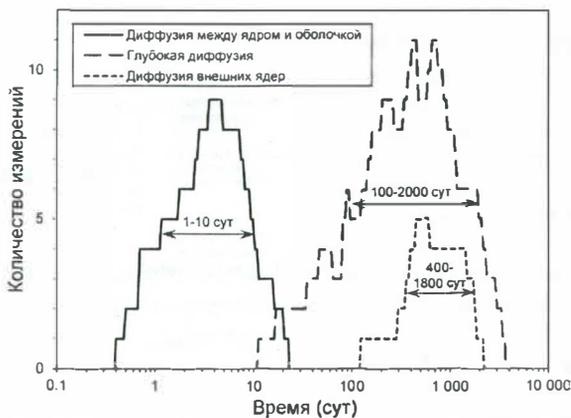


Рис. 2. Времена действия различных проявлений диффузии в виде частотной диаграммы: диффузия внешних ядер – линия с коротким пунктиром; глубокая диффузия – линия с длинным пунктиром; диффузия между ядром и оболочкой – сплошная линия. Диапазоны времени диффузии определены на половине высоты распределений.

Быстрый подъём расплава с мантийного уровня может быть не таким уж редким событием, но медленное охлаждение оливинов на поздних стадиях подъёма в потоках лавы или в магматических внутрикоровых резервуарах может стирать все записи Fo-Ni неоднородностей. Одной из возможностей сохранения записей быстрого подъёма магм с большой глубины является извержение типа маара, сформировавшего туфовое кольцо 7600 л. н. Такие фреатомагматические извержения, как правило, происходят из базальтов, которые поднимаются относительно быстро, возможно, за счёт глубинной  $\text{CO}_2$ -дегазации.

Ранее относительно короткими временами подъёма высоко-Mg мантийных оливинов считались сроки от ста суток до нескольких лет. В таких кристаллах оливина неоднородности форстерита уже были стёрты диффузионными процессами, а ширина диффузионных зон по никелю составляла порядка 100 мкм, т. е. намного больше ширины зон диффузии по никелю, наблюдаемых в исследуемых оливинах (3–13 мкм). Время подъёма мантийных расплавов для извержения Шивелуча 7600 л. н. оказывается на порядки меньше существовавших ранее представлений.

Наши исследования показывают, что процессы роста и диффузии в кристаллах оливина на пути от мантийного источника к поверхности могут быть достаточно сложными, а время подъёма очень малым – всего несколько суток до извержения.

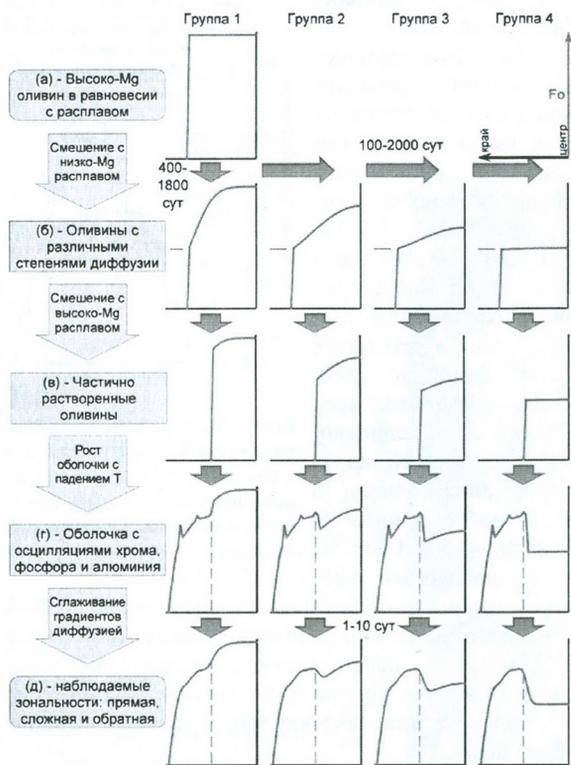


Рис. 3. История образования изучаемых оливинов в виде блок-схемы. Оливины представлены в виде распределений форстерита от края до центра. Граница плавления, отделяющая ядро от оболочки, отмечена пунктиром. Стрелки показывают переход от одного распределения форстерита в оливине к другому. В комментариях слева даются характеристики каждого распределения и причины, их вызывающие.

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

#### Литература

1. 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. *Scientific Reports*. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-30133-1>.

## **ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНИЗМА И ДИАПИРОВОЙ ТЕКТониКИ (НА ПРИМЕРЕ МИОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КЕРЧЕНСКО-ТАМАНСКОГО ПРОГИБА)**

**ГРИГОРЬЕВ М.А., ГРИГОРЬЕВ А.М., ДЕНЕКИН И.А.**

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», г. Краснодар,  
geosarmat@mail.ru, gemma-geolog@mail.ru, denekin.i@yandex.ru*

С древнейших времён в пределах восточной части Керченско-Таманского межпериклинального прогиба (КТП, Таманский полуостров) известны выходы на поверхность газированных грязебрекчий с комками и плёнками нефти. В этих же зонах миоценовые отложения выходят на дневную поверхность. Поверхностные нефтегазоводопроявления имеют общую природу и контролируются единым комплексом геологических процессов. Поэтому изучение факторов формирования гидрохимической обстановки (зональности) миоценовых отложений делает возможным более полное понимание процессов генерации, аккумуляции и консервации скоплений углеводородов (УВ) в рассматриваемом регионе.

Миоценовые отложения восточной части КТП охарактеризованы химическими анализами и дебитами пластовых вод по площадям Лиманная, Северо-Нефтяная, Благовещенская, Капустина Балка. Их изучение позволило выявить некоторые особенности гидрохимической обстановки миоценовых отложений рассматриваемого геоструктурного элемента.

Миоценовый осадочнопородный комплекс Таманского полуострова подстилается глинистой толщей майкопской серии, которая является нижним региональным водоупором и имеет толщину 2000–4200 м [3, с. 34].

Минерализация пластовых вод в пределах восточной части КТП увеличивается вниз по разрезу от понта к верхнему сармату, а затем снижается от нижнего сармата до чокрака. В понтических, меотических и верхнесарматских отложениях характерно развитие высокоминерализованных вод (до 1000 мг-экв/дм<sup>3</sup> и выше) при широком распространении (особенно по Благовещенской площади) хлоридно-магниевого типа. В нижнем сармате, карагане и чокраке происходит снижение концентрации солей в среднем до 250–900 мг-экв/дм<sup>3</sup>, преобладающее развитие получает гидрокарбонатно-натриевый тип вод.