

**ПРОБЛЕМА ОБРАЗОВАНИЯ РОДОНАЧАЛЬНЫХ РАСПЛАВОВ  
В УСЛОВИЯХ СПРЕДИНГОВЫХ ЗОН МИРОВОГО ОКЕАНА****Сущевская Н.М., Цехоня Т.И. (ГЕОХИ РАН)***nadyas@geokhi.ru*

Ключевые слова: Мировой океан, рифтовые зоны, первичные расплавы, условия генерации

В ходе декомпрессионного плавления океанской мантии в зонах спрединга образуется изверженная океаническая кора, состоящая из базальтов (толеитов океанских рифтов (ТОР), дайкового комплекса и нижележащих габбро. Исследования зоны плавления под районом ВТП показали, что зона пониженных скоростей, достигающих 3.95 км/сек, расположена прямо под хребтом на глубине около 30 км и продолжается на глубину до 150-200 км. Большое количество расплава центрировано на относительно малой глубине и лишь небольшое на глубинах до 150 и глубже. Глубина генерации (около 10 кбар) достаточно типична для большей части спрединговых зон Мирового океана, как быстро-, так и медленно-спрединговых, поскольку, как было показано, составы толеитовых расплавов «неосложненных» провинций СОХ близки между собой [1]. Исключение составляют провинции, относящиеся к относительно «более холодным» (например, экваториальная Атлантика, хр.Книповича) участкам литосферы, либо наоборот, «более горячим» (северная Атлантика).

Исследования последних десятилетий, базирующиеся как на непосредственно экспериментах по плавлению природных и синтетических гипербазитов, так и на теоретических моделях, рассчитанных с учетом зависимости известных коэффициентов распределения элементов (включая и редкие) от температуры и давления показали, что существуют достаточно большие трудности при разработке моделей генерации первичных расплавов под спрединговыми зонами, поскольку невозможно учесть все факторы процесса плавления, протекающего чаще всего в открытой системе, когда: 1 – сама мантия может быть гетерогенной; 2 – по мере плавления и подъема к поверхности поднимающаяся мантия меняет свой состав; 3 – в ходе плавления не происходит полного отделения расплава от мантийной матрицы; 4 – в область генерации могут поступать флюиды либо расплавы из других источников, например, из областей горячих точек, 5 – механизм и скорость транспортировки расплавов могут меняться от провинции к провинции, а также в процессе эволюции. Оценка влияния каждого из этих факторов на сегодняшний день не имеет однозначного решения, и поэтому все разрабатываемые модели лишь частично приближают нас к ответу, как и почему происходит плавление под рифтовыми зонами.

Характер поднимающейся мантии может быть гетерогенен как из-за включенных в нее фрагментов рециклированных фрагментов древней океанской коры, так и в результате ее взаимодействия с континентальной литосферой при начальных стадиях формирования рифтовых зон. Это приведет к образованию в ее пределах обогащенных расплавов (например, щелочных по генезису), которые могут взаимодействовать с минералами матрицы при медленном просачивании, а могут попадать на поверхность при быстром их подъеме вдоль трещин, каналов [2]. Появление обогащенных литофилами толеитов в пределах спрединговых зон возможно и по разрабатываемым моделям критического (непрерывного) плавления с неполным отделением расплавов от матрицы (с постоянным присутствием от 0,1 до 1% расплава) [3, 4 и др.].

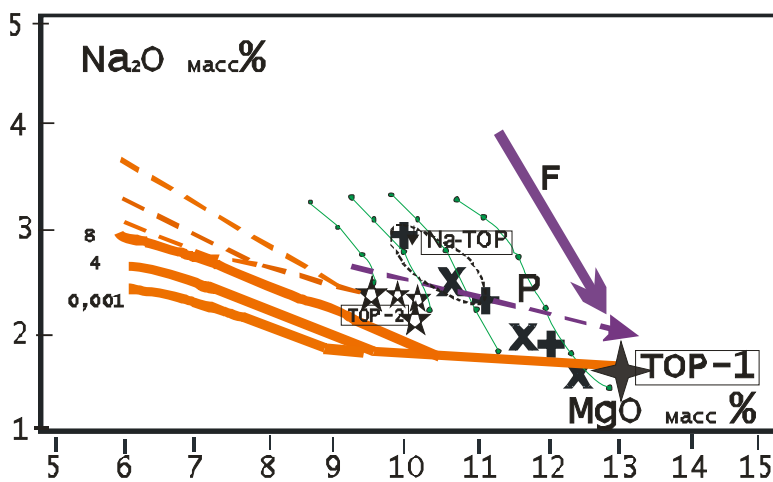
Расплавы, поступающие в верхнюю часть колонны, могут смешиваться между собой либо в процессе транспортировки, либо в верхних частях колонны, приводя к образованию родоначальных расплавов. Данные родоначальные расплавы будут отвечать средней взвешенной оценке параметров их образования.

Источником для генерации большинства первичных толеитовых расплавов служит вещество, отвечающее по составу океанскому лерцолиту, плавление которого происходит в сухих условиях, а выплавляющиеся из него расплавы варьируют по составу в зависимости от глубины и температуры. При этом наиболее реальный интервал генерации расплавов это 5–16 кбар, а степень плавления изменяется от 8 до 20% [5]. Существует зависимость глубины,

степени плавления и мощности наращиваемой коры. Чем меньше продуктивность процесса генерации, которая происходит на наименьших глубинах, тем меньше мощность образующейся коры и тем глубже рифтовая долина. Температура образования магм под наиболее и наименее глубокими частями рифта различается на 250-300°C. По экспериментальным данным [6] наиболее возможный уровень плавления находится в области Sp–Pl фазового перехода лерцолита.

Выделенные нами в ходе исследования толеитового магматизма группы стеклов рассматриваются как дифференциаты родоначальных расплавов, генерация которых происходила из лерцолитовой мантии в сухих условиях с разных глубин, наименьшая из которых типична для типа расплавов, обогащенных Si, Na и обедненных Fe (Na-TOP). Оцененные условия образования родоначальных расплавов COX, подчеркивают более глубинный уровень выплавления TOP-1, по сравнению с TOP-2, генерация которых близка к точке Sp–Pl фазового перехода примитивного лерцолита (KLB-1) [7].

Несмотря на то, что изливающиеся на поверхность дна расплавы чаще всего представляют собой суммарную, интегральную фракцию расплавов, образованных в различном по глубине интервале мантийного плавления, наиболее магниезильные расплавы могут отражать родоначальные расплавы, поступающие в промежуточные камеры, очаги. Нахождение в



**Рис.1.** Сопоставление составов расчетных родоначальных расплавои типов TOP-1, TOP-2 и Na-TOP с составами исходных расплавов полученных в различных интервалах давлений по [3, 9].

Тонкими черными линиями показано изменение составов расчетных первичных расплавов COX (черные точки) по мере уменьшения давления и увеличения степени плавления на 4% в интервалах:

1.18-17,4 кбар (общая степень плавления F –6%), 18-16 (10), 18-14 (14), 18-11,5(18), 18-8,5(22), 18-3,5(28); 2.14-13,4(6),14-12(10),14-10,6 (14), 14-8,4 (18), 14-5,7(22); 3.10-9 (6),10-8,(10),10-7(14),10-7(14),10-5, 4.(18);6-5,8 96), 6-5,4 (10), 6-3,5(16).

На этом же рисунке показаны расчетные линии фракционирования для TOP-1 (ромб) и TOP-2 (звездочки), а также составы расчетных расплавов, полученных путем полибарического фракционирования, критического плавления первичной мантии (косые кресты) и деплетированной (прямые кресты) мантии по [3]. По мере увеличения магниезильности нанесены составы первичных расплавов с увеличивающимся интервалом плавления 15-4кбар (степень плавления -10%), 20-4 (14%), 25-4кбар (18%). Стрелками показано изменение концентраций элементов при увеличении глубины (P) и степени плавления (F).

расплавных включений в наиболее магниезильных оливинах северной Атлантики [10]. Расчетные родоначальные расплавы, (см. таблицу), сравнивались с выплавками, полученными по различным моделям плавления модельных лерцолитов, что дало возможность оценки глубины, температуры и степени плавления. Наилучшее приближение к нашим составам имели исходные расплавы по [9]. На рис. 1 приведены составы родоначальных расплавов, в

расплавах наиболее магниезильных ликвидусных оливинов ( $F_{0,89-91}$ ) может свидетельствовать об их равновесии с мантией лерцолитового состава.

Нами была проведена оценка составов родоначальных расплавов (типы TOP-1, TOP-2, Na-TOP) с использованием тренда обратной кристаллизационной дифференциации по расчетной модели КОМАГМАТ [8] средних составов наиболее магниезильных стекол различных провинций Мирового океана до расплава, могущего быть в равновесии с мантией.

Определение составов минеральных фаз в магмах TOP-1 и TOP-2 [1] показало, что они отличаются в пределах типов. Более высокотемпературные и более магниезильные ликвидусные оливины, достигающие  $F_{0,91,5}$  типичны для TOP-1.

Максимальная магниезильность оливинов для базальтов типа TOP-2 – 90,4, для оливинов Na-типа – 89,5. В качестве родоначального состава для TOP-1 использовался средний состав

координатах Na–Mg, где видно отличие типов расплавов TOP-1, TOP-2 и Na-TOP в первую очередь по Na.

В качестве родоначальных расплавов для толеитов (Na-TOP) были использованы расплавы, полученные по модели [3], которая позволила получить их с повышенными содержаниями Na<sub>2</sub>O (до 3,5%), SiO<sub>2</sub> и пониженными FeO, при этом плавление недеплетированной мантии начиналось при 20 либо 15 кбар и продолжалось вплоть до 4 кбар, а в матрице мантийного субстрата постоянно присутствовало около 1 % расплава (рис. 1).

Таким образом, процесс плавления мантии в спрединговых областях близок к фракционному полибарическому, когда поступающие вверх порции расплава смешиваются между собой. Эта смесь будет отвечать равновесию, по давлению, отвечающему средней глубине поднимающейся колонны. Оцененный нами основной уровень генерации для расплавов **TOP-1** лежит в интервале давлений 20–10кбар, средняя T = 1300 °C, F ≥ 15%, для **TOP-2** – в интервале P – 15–7 кбар, средняя T = 1270°C, F > 10%, для **Na-TOP** – в интервале P – 15–4 кбар, T = 1250°C, F ≈ 10%. Возможен процесс неполного отделения расплава, что приведет к колебаниям исходных расплавов по содержанию литофильных элементов. Расплавы в центральной части колонны непосредственно под спрединговой зоной просачиваются вверх, но в ее апикальных частях они могут не достигать поверхности, приводя к образованию метасоматизированной мантии.

### Составы родоначальных расплавов для различных провинций спрединговых зон Мирового океана

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Расплав	Тип	Ссылка
49,32	0,60	15,10	7,65	13,08	12,38	1,61	0,06	0,01	TOP-1	TOP-1	[10]
49,74	0,86	17,80	7,05	9,52	12,47	2,32	0,06	0,05	TOP-2	TOP-2	[11]
48,98	0,97	17,94	7,38	10,06	12,21	2,19	0,06	0,08	TOP-2-ВТП	TOP-2	[12]
49,78	1,03	17,05	7,30	9,77	12,47	2,32	0,06	0,09	TOP-2-ТАГ	TOP-2	[12]
48,71	0,77	17,79	6,10	10,09	12,04	2,30	0,03	0,04	TOP-2Экв	TOP-2	[12]
50,86	0,99	17,09	6,92	9,93	10,99	2,91	0,31	-	КН315-4	Na-TOP	[3]
49,27	0,91	17,19	7,56	11,09	11,49	2,27	0,22	-	КН320-4	Na-TOP	[12]
51,31	0,99	17,57	6,41	9,42	10,48	3,30	0,31	0,20	РМШ-Na	Na-TOP	[12]
47,24	1,41	18,08	9,93	10,62	9,12	3,25	0,35	0,00	БТ320-6	Щел.	[9]
48,32	1,30	17,75	9,00	9,60	9,86	3,40	0,60	0,18	РМШ-Млс	Щел.	[9]
48,00	1,57	16,29	7,61	10,62	11,62	2,96	0,92	0,41	РМШ-щел	Щел.	[12]
50,36	0,61	14,46	8,22	12,80	12,04	1,41	0,11	0,00	H-Si (Bt20-4-28%)	TOP-Si	[9]

### Литература

1. *Суцевская Н.М., Цехоня Т.И.* Генезис толеитовых расплавов Восточно-Тихоокеанского поднятия (по данным типизации закалочных стекол) // Докл. АН СССР. 1992. Т.326. №6. СС.1043-1049.
2. *Lundstrom C., Gill J., Williams Q.* A geochemically consistent hypothesis for MORB generation // Chemical Geology. 2000. 162. PP. 105-126.
3. *Kinzler R.L., Grove T.L.* Primary magmas of mid-ocean ridge basalts. 2.Applications // J.Geophys.Res. 1992. 97. B5. PP. 6907-6926.
4. *Sobolev A.V., Shimizu N.* Ultra-depleted primary melt included in an olivine from Mid-Atlantic Ridge. Nature. 1993. V. 363. PP. 151-154.
5. *Klein E. M., Langmuir C. H.* Local versus global variations in ocean ridge basalt composition: A reply // J. Geophys. Res. 1989. V. 94. PP. 4241-4252.
6. *Presnall D.C., Gudfinnson G.H., Walter M.J.* Generation of mid-ocean ridge basalt at pressures from 1-7 GPa // Geochem. Cosmoch. Acta. 2002. V. 66. N. 12. PP. 2073-2090.
7. *Соболев А.В.* Проблемы образования и эволюции мантийных магм // Докт. Дисс. М.: ГЕОХИ РАН.1997.

8. *Арискин А.А., Бармина Г.С.* Моделирование фазовых равновесий при кристаллизации базальтовых магм // М.: Наука. МАИК. Наука / Интерпериодика. 2000. 363с.
9. *Niu Y., Batiza R.* An empirical method for calculations produced beneath mid ocean ridges: application for axis and off-axis (seamounts) melting // J. Geophys. Res. 1991. V.96. N.B13. PP. 21753-21777.
10. *Соболев А.В.* Включения расплавов в минералах как источник принципиальной петрологической информации // Петрология. 1996.Т. 6. № 3. СС. 228-239.
11. *Sobolev A.V., Dmitriev L.V.* Primary melts of tholeiites of oceanic rifts (TOR): Evidence from studies of primitive glasses and melt inclusions in minerals. Abstracts // IGC. Washington D.C. 1989. V. 3. PP. 147-148.
12. *Суцневская Н.М., Цехоня Т.И.* Особенности формирования базальтового магматизма в Приэкваториальной зоне Срединно-Атлантического хребта. // Геохимия. 1994. N 5. СС. 102-118.

---

*Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(24) 2006*

*Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2004 года (ЕСЭМПГ-2006)*

*URL: [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dgggms/1-2006/informbul-1\\_2006/term-27.pdf](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2006/informbul-1_2006/term-27.pdf)*

*Опубликовано 1 июля 2006 г*

*© Вестник Отделения наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2006*

*При полном или частичном использовании материалов публикаций журнала, ссылка на «Вестник Отделения наук о Земле РАН» обязательна*