

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

**МИГДИСОВА НАТАЛЬЯ АЛЕКСАНДРОВНА**

**ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ОБОГАЩЕННЫХ ТОЛЕИТОВЫХ  
МАГМ В РАЙОНЕ ТРОЙНОГО СОЧЛЕНЕНИЯ БУВЕ (ЮЖНАЯ  
АТЛАНТИКА)**

**Специальность 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков  
полезных ископаемых**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата геолого-минералогических наук**

**Москва - 2012**



## 1. ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** Базальты, образованные в единой системе спрединговых хребтов Мирового океана, покрывают практически 2/3 поверхности Земли и образуют глобальную толеитовую провинцию магматизма. *Количественная оценка физико-химических параметров образования магм, выявление причин возникновения геохимической гетерогенности толеитов в пределах отдельных районов спрединговых зон и их сочленений, определение взаимосвязи составов магм и геодинамического режима развития Срединно-Океанических хребтов (СОХ) – являются одними из главных проблем современной геологии и геохимии. Несмотря на пристальное изучение магматизма океанов в течение последних десятилетий, перечисленные вопросы до сих пор актуальны. Решение этих задач позволит понять процесс формирования внешних мантийных оболочек Земли, что в свою очередь крайне важно для воссоздания процесса эволюции мантии Земли с момента ее зарождения.*

**Главная цель** диссертационной работы – *установление природы, условий генерации и эволюции первичных толеитовых расплавов под спрединговыми зонами в районе Тройного Сочленения Буве (Южная Атлантика). Область тройного сочленения Буве (ТСБ) в Южной Атлантике образована тремя спрединговыми хребтами – Срединно-Атлантическим (САХ), Американо-Антарктическим (ААХ) и Африкано-Антарктическим (АФАХ) и имеет сложную геодинамическую и магматическую историю. Район ТСБ претерпевал многочисленные деформации, точка тройного сочленения неоднократно меняла свою позицию. Зарождение и отмирание отрезков спрединговых хребтов создавало условия для развития рифтогенеза на новой океанической коре, что влияло на общую картину магматизма района. Изучение условий формирования океанической коры в подобных осложненных условиях имеет важное значение для глубокого понимания процессов рифтогенеза.*

**Основными задачами работы** являются: 1 — *определение петрогенетических и геохимических особенностей толеитовых магм ТСБ*, 2 — *количественная оценка условий образования и фракционирования родоначальных магм в пределах западного окончания АфАХ вблизи тройного сочленения Буве*, 3 — *выявление возможных причин геохимической гетерогенности района ТСБ*.

### **Фактический материал**

В основу работы положен фактический материал, полученный во время научно-исследовательских рейсов НИС: 18-го рейса НИС “Академик Николай Страхов” (1994 г.) и “Геленджик”-96, и предоставленный автору Сущевской Н.М.

Во время 18-го рейса НИС “Академик Николай Страхов” проводился отбор образцов с 12 станций - около острова Буве, непосредственно со склонов острова и вдоль участка рифтовой долины АфАХ, примыкающего к ТСБ. Были отобраны представительные образцы свежих закалочных стекол и базальтов.

В ходе рейса “Геленджик”-96, осуществленного совместной итало-русской геолого-геофизической экспедицией под руководством Э. Бонатти (Институт морской геологии, г.Болонья), были проведены драгировки как на склонах соединяющихся срединных хребтов, так и на бортах подводной кальдеры хребта Шписс, представляющего собой западное окончание АфАХ. В данной работе были использованы материалы, поднятые с 20 станций этого рейса.

### **Для решения поставленных задач проводилось:**

- \* исследование закалочных стекол и минеральных фаз толеитов ТСБ с использованием современного аналитического оборудования;
- \* оценка условий кристаллизации и фракционирования толеитовых расплавов ТСБ с использованием математических и эмпирических методов [Nimis, 1995, 1998; Соболев и др., 1996; Нестеренко, Арискин, 1993];

\* выявление геохимической специфики расплавов ТСБ, в том числе с помощью новейших геохимических подходов и методов [Sobolev et al., 2005, 2007; LeRoux et al., 2010; Arevalo and McDonough, 2010; Stracke et al., 2005];

\* оценка составов и определение физико-химических параметров кристаллизации родоначальных расплавов ТСБ до момента их излияния с помощью компьютерного моделирования (программы КОМАГМАТ, RETROLOG 2.1).

### **Личный вклад**

В основе диссертации лежат результаты петро-геохимических исследований базальтов района ТС Буве, полученные автором за время десятилетней работы в ГЕОХИ РАН. Дана полная минералогическая, петрохимическая и геохимическая характеристика магм, формирующих хребет Шписс и сегмент АфАХ вблизи острова Буве.

Непосредственно автором выполнено:

\* подготовка каменного материала для изготовления шлифов и проведения различного рода анализов, отбор мономинеральных фракций, изготовление прозрачно-полированных препаратов для микронзондового изучения;

\* оптическое изучение петрографии и минералогии объекта исследования;

\* оценка условий кристаллизации расплавов и моделирование магматических процессов;

\* оценка состава первичных расплавов с использованием современных геохимических методик;

\* анализ, систематизация и обобщение полученных результатов, сравнение их с литературными данными.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

\* при помощи современных методов анализа получены новые петролого-геохимические и минералогические данные по району тройного сочленения Буве;

\* оценены условия образования, фракционирования и излияния расплавов ТСБ;

\* установлена петрологическая и геохимическая неоднородность толеитового магматизма ТСБ;

\* выявлено присутствие пироксенитовой мантии, участвующей в выплавлении исходных расплавов под спрединговыми зонами и оценено количество этой составляющей для разных районов ТСБ;

\* показано, что по геохимическим данным пироксенитовый источник, соучаствующий в выплавлении, мог представлять собой фрагменты древней океанической коры, образованной в несколько этапов в течение длительного геологического времени.

**Практическое значение.** В нашей работе были применены современные методы и подходы комплексного петролого-геохимического изучения океанических толеитов, позволяющие решать одну из фундаментальных проблем геологии – *образование глобальных неоднородностей в мантийных резервуарах Земли*. Данное исследование толеитового магматизма, в результате которого была выявлена геохимическая неоднородность расплавов, изливающихся в районе тройного сочленения Буве, может быть в дальнейшем использовано при расшифровке геологической эволюции Мирового океана.

**Апробация работы.** По теме работы автором было опубликовано 6 статей в международных и российских рецензируемых изданиях (Петрология, Petrology, Геохимия, Российский журнал наук о Земле, ДАН). Результаты исследований по теме диссертации представлены в опубликованных тезисах докладов и докладывались автором на «Семинарах по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии» (Москва, ГЕОХИ РАН, 2003, 2004, 2008), Геология и геофизика Срединно-Океанических хребтов (Санкт-Петербург, ВНИИОкеанология, 2001), рабочем совещании Российского отделения международного проекта «Inter Ridge» (Москва, 2003, 2011), XIV Российском совещании по экспериментальной минералогии (Черноголовка, 2001), Генеральной Ассамблее Европейской Ассоциации Геохимии (EGU 2001,

2010, 2011), Всероссийской научной конференции «Геология, геохимия, геофизика на рубеже XX и XXI веков» (2001), Всероссийского семинара по Геохимии магматических пород (2002), Международной Геохимической конференции Гольдшмидт (2004, 2007, 2011), заседании рабочей группы Альпийские офиолиты и современные аналоги (2009), XLII Тектоническом совещании (2009), XIX симпозиуме по геохимии изотопов имени академика А.П. Виноградова (2010), 20-м Генеральном симпозиуме международного минералогического союза (ИМА 2010).

Работа выполнена в ГЕОХИ в лаборатории геохимии магматических и метаморфических пород при финансовой поддержке грантов фонда РФФИ (научные гранты 2000, 2003, 2006, 2009 гг, руководитель Суцевская Н.М.), в которых соискатель принимала непосредственное участие.

**Структура и объем работы** Работа состоит из введения, 7 глав, заключения, списка литературы и приложения. Глава 1 посвящена описанию геологического положения, структурных особенностей и тектонического развития района. Глава 2 посвящена методологическим вопросам. В главе 3 представлено подробное исследование минеральных фаз толеитов ТСБ. В Главе 4 разобран состав пород и закалочных стекол толеитов ТСБ с точки зрения главных элементов, оценен состав первичных расплавов и магматического источника и определены условия кристаллизации. В главе 5 определена природа геохимического обогащения расплавов района. Глава 6 содержит результаты проведенного исследования ликвидусных оливинов, позволившего выявить присутствие пироксенитовых расплавов в первичном источнике ТСБ и оценить количество пироксенитового компонента. В Главе 7 полученные результаты применяются для воссоздания вероятного геодинамического прошлого района ТСБ. Главы 3-7 завершаются краткими выводами. Приложение к диссертационной работе включает фотографии шлифов с кратким описанием, таблицу с описанием станций отбора образцов и самих образцов, таблицы с составами минералов, расплавных стекол и пород.

Материал изложен на 185 стр. текста, проиллюстрирован 71 рисунком и содержит приложение из 14 таблиц. Список литературы включает 183 ссылки.

### **Благодарности**

Автор выражает благодарность Н.М. Суцевской, под чьи руководством было начато, проведено и завершено данное исследование, а также А.В. Соболеву, чей интерес к данной работе и творческий контакт стимулировал более углубленное изучение проблем толеитового магматизма. Большую признательность автор выражает Б.В.Беляцкому за плодотворную работу над совместным решением задач, посвященных определению геохимического характера магматизма ТСБ. Автор искренне признателен своим коллегам Е.П.Дубинину, В.С.Каменецкому, А.А.Пейве, С.А.Силантьеву, Н.Н. Кононковой, с которыми был выполнен ряд совместных исследований. Большое значение для данной работы имели научные контакты и дискуссии с Б.А. Базылевым, М.В. Портнягиным.

Особую признательность автор высказывает официальным оппонентам А.А.Арискину, Е.В.Шаркову, а также Н.Л.Миронову, принявшим непосредственное участие в оценке формы и сути диссертационной работы, и внесшим своевременные и конструктивные предложения и правки. Данная работа была бы не выполнима без финансовой поддержки фонда РФФИ (№ 03-05-64573; 00-05-64465; 00-05-64235; 96-05-65569; 96-05-65483; 09-05-00256, 06-05-64651; 97-05-64737; 96-05-64292).

## **2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА ТСБ**

Районы тройственного сочленения плит в Мировом океане это сложно построенные области, характеризующиеся сочетанием разнотипных морфоструктур и разнообразным магматизмом. Три системы срединно-океанических хребтов, различающихся скоростями спрединга и историей развития, сходятся в районе ТСБ: АфАХ (в иностранной литературе - Юго-Западный Индийский хребет (ЮЗИХ)) со средней скоростью спрединга 17 мм/год, Американо-Антарктический хребет (АмАХ) со скоростью 18 мм/год и САХ со скоростью 32 мм/год (рис. 2-1). В пределах ТСБ нами были выделены



районы: структуры САХ, АМАХ, и два сегмента АфАХ: сегмент рифтовой долины, расположенный напротив о. Буве и хребет Шписс. Также отдельно рассматривается гора Шона. Основное внимание в работе уделено изучению магматизма сегментов АфАХ. Хребет Шписс (западное окончание АфАХ) представляет собой большое вулканическое поднятие шириной до 55 км, косо расположенное по отношению к структурам САХ; по магнитным аномалиям возраст хр. Шписс составляет 2,5 млн. лет [Пейве, 2002].



**Рисунок 2-1. Карта района Тройного Сочленения Буве. Показаны места станций драгировок во время 18 рейса НИС “Николай Страхов” (S18) и “Геленджик-96” (G96)**

По данным батиметрии и магнитометрии установлено, что морфологическое строение района ТСБ осложнено неоднократным изменением простирания осей спрединга, пересечением хребтов, зарождением хребтов. Эти процессы обычны для быстро-спрединговых хребтов, но редко встречаются в ситуациях медленного спрединга [Дубинин и Ушаков, 2001]. Такая нестабильная геометрия границ плит может быть вызвана сложным и неравномерным распределением напряжений в районе ТСБ из-за взаимодействия трёх плит: Антарктической, Африканской и Южно-Американской.

Общая направленность развития района состоит в проградации АфАХ и АмАХ к северу и смещению вулcano-тектонической активности САХ в том же направлении. Новая конфигурация тройного сочленения будет окончательно оформлена, вероятно, в течение ближайшего 1 млн. лет и возникнет примерно в 70 км к северу от современной, когда сегмент АфАХ (хребет Шписс) столкнётся с САХ. При этом АмАХ присоединит к себе семидесятикилометровый отрезок САХ, и Антарктическая плита увеличится в размере [Ligi et al., 1997].

ТСБ является уникальным в геодинамическом плане районом сочетания разных по характеру развития, геоморфологии, скоростям спрединга структур СОХ. Ситуация также осложнена возникающими вблизи спрединговых зон горячими точками (Шона, Буве). Район тройного сочленения Буве непосредственно связан с горячей точкой Буве, оказавшей безусловное влияние на его геодинамическую историю [Dickey et al., 1977; Le Roex A.P. et al., 1982; 1985; Shilling et al., 1985; Пейве А.А. и др. 1995; Simonov, 1996; Ligi et al., 1997]. Воздействие глубинного плюма могло служить причиной образования хребтов, перескоков осей спрединга и заложения нетипично толстой коры [Ligi et al., 1997].

Возникающие вопросы - о характере взаимодействия хребтов, о влиянии горячих точек на рифтовый магматизм, о геохимической специфике магматизма каждой из ветвей СОХ в районе ТСБ - остаются дискуссионными. Перед нами стояла задача максимально подробно изучить характер магматизма, формирующего спрединговые хребты в осложненных условиях с применением современных методов и подходов петрологии и геохимии.

### **3. МЕТОДЫ АНАЛИЗА**

В ходе исследования применялись различные доступные физико-химические методы анализа, выполненные в ведущих институтах России и зарубежом: электронно-зондовый анализ (более 1200 анализов), рентгено-флюоресцентный метод ( $\approx 330$  анализов), вторично-ионная масс-спектрометрия ( $\approx 200$  анализов). По полученным фактическим и использованным в работе

литературным данным составлена база данных, насчитывающая более 3000 анализов.

*Главные элементы в стеклах и минералах* определялись методом электронно-зондового анализа на микроанализаторе CAMEBAX-Microbeam в ЦАЛ ГЕОХИ, а также на микроанализаторе CAMECA SX50 на кафедре петрографии МГУ с помощью энерго-дисперсионной приставки LinkSystem-10000 и в институте химии им. Макса Планка в Майнце (Германия) (Max Plank Institute for Chemistry, Mainz, Germany or MPI-Mainz) на приборе JEOL Superprobe JXA-8200.

*Редкие элементы* в минералах и стеклах анализировались в институте химии им. Макса Планка в Майнце (Германия) на приборе JEOL Superprobe JXA-8200 по методике сверхточного определения элементов [Sobolev et al. 2007].

Концентрации элементов-примесей Ba, Th, Nb, La, Ce, Sr, Nd, Sm, Zr, Be, Eu, Ti, Dy, Y, Er, Yb, Li в клинопироксенах определялись методом вторичной ионной масс спектрометрии (ионный зонд SIMS) с использованием вторично-ионного микроскопа Cameca IMS-4F в институте Микроэлектроники и Информатики РАН.

Для части образцов содержания редких элементов в стеклах были определены методом Ar-F лазерного возбуждения – ICP-MS в Канберре (Каменецкий В.С., Research School of Earth Sciences, Australian National University).

*Изотопный состав Pb, Sr, Nd* базальтов был измерен в лаборатории геохимии изотопов в ИГГД РАН (Санкт-Петербург) на многоканальном твердофазовом масс-спектрометре Finnigan MAT-261 в статистическом режиме регистрации ионных токов изотопов исследованных элементов.

*Моделирование.* Количественная оценка условий фракционирования расплавов для различных областей СОХ и оценка составов родоначальных расплавов ТСБ проведена по методике расчета с использованием программы КОМАГМАТ [Арискин и др., 1991]. Так же по КОМАГМАТ оценивались

пропорции и составы кристаллизующихся фаз и температурные условия их кристаллизации. Точность расчетов составила 1-2 кбар при оценке давления и около 10°C при оценке температуры. Для отдельных выборок по программе КОМАГМАТ была проведена оценка составов родоначальных расплавов с использованием метода обратной кристаллизации составов наиболее магнезиальных стекол до расплава, предположительно находившегося в равновесии с мантийным оливином (Fo<sub>90-91</sub>). Для оценки давлений кристаллизации также применялась программа PETROLOG 2.1 [Danyushevsky et al., 2002].

#### **4. МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ И ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТОЛЕИТОВ ТСБ**

Материал, драгированный с изучаемых станций хребта Шписс и сегмента АфАХ, представляет собой обломки и глыбы базальтов – фрагменты подушечных лав, лавовых потоков, обычно со следами свежих сколов, часто с сохраненной на поверхности стекловатой закалочной коркой. Со всех станций был поднят представительный каменный материал, являющийся афировыми, редко порфиоровыми и сильно раскристаллизованными базальтами. Среди базальтов, поднятых из рифтовой долины АфАХ, преобладают умеренно и слабо пористые разновидности. Степень изменения вулканитов ТСБ зависит от их текстурно-структурных особенностей. Слабо и умеренно пористые образцы имеют свежий облик, в них отмечается лишь небольшое количество глауконита, частично заполняющего везикулы. Сильно пористые образцы обычно красные и оранжевые в силу обильного развития по ним окислов и гидроокислов железа. Во многих афировых образцах отмечено присутствие титаномагнетита. Вкрапленники главных породообразующих минералов в районе ТСБ представлены оливином, плагиоклазом и клинопироксеном, в шлифах часто можно видеть сростки этих трех породообразующих минералов и их прораствания. Перечисленные выше характерные особенности структуры пород сегмента ТСБ позволяют заключить, что в системе имела место последовательность кристаллизации оливин → плагиоклаз → клинопироксен,

обычная для толеитов СОХ. Плагиоклаз является доминирующей фазой в толеитах ТСБ и представлен как в виде одиночных кристаллов (мегакристов), так и в виде агрегатов-сростков (гломерокристов), встречается во вкрапленниках и часто составляет большую часть основной массы. Плагиоклазы ТСБ представлены рядом от  $An_{50}$  до  $An_{91}$  (рис. 4-1). Оливин встречается в виде редких фенокристов (< 1%) и образует часто растворенные гипидиоморфные кристаллы размером от 1 до 3 мм. Преобладающие составы по  $Fo$  составляющей оливинов сегмента АфАХ и хребта Шписс совпадают и отражают многообразие составов оливинов для района ТСБ:  $Fo_{72}$  –  $Fo_{92}$  (рис. 4-1).

Клинопироксен является редким вкрапленником в толеитах АфАХ и хребта Шписс (< 1%) и встречается в виде фенокристов и микрофенокристов обычно удлиненной формы. В

основной массе микрофенокристы клинопироксена овальной формы достигают

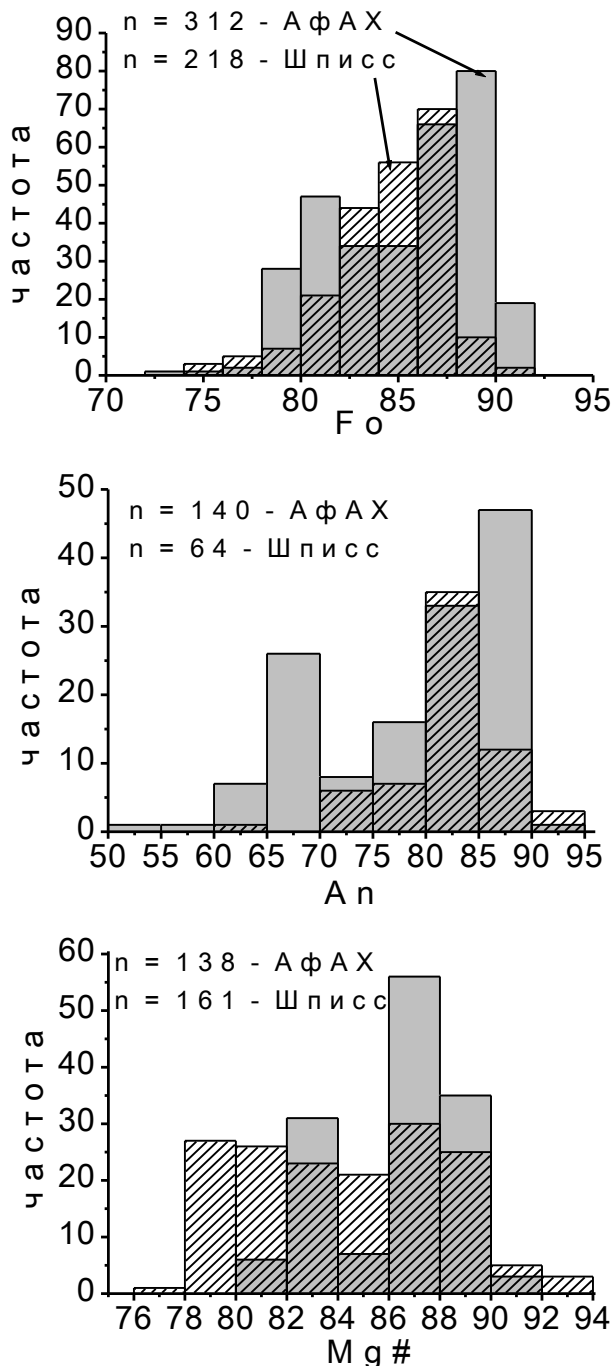


Рисунок 4-1. Составы вкрапленников оливина -  $Fo$ , плагиоклаза -  $An$ , клинопироксена -  $Mg\#$  в толеитах Т С Б

0,1 мм в длину, образуют сростки с игольчатым плагиоклазом. В целом диапазоны составов зерен клинопироксенов обоих изучаемых районов совпадают: от  $Mg\# = 76$  до  $Mg\# = 94$  (рис. 4-1).

Таким образом, по минералогическому составу изливавшиеся в пределах ТСБ базальты характеризуются разной степенью кристаллизации исходных магм. Широкий интервал составов вкрапленников для отдельных образцов позволяет утверждать, что породы соответствуют неравновесной смеси расплава, оливина, плагиоклаза, клинопироксена и рудных минералов, кристаллизовавшихся в пределах единой магматической системы, т.е. при участии генетически родственных магм, и, возможно, смешивались при их излиянии на поверхность.

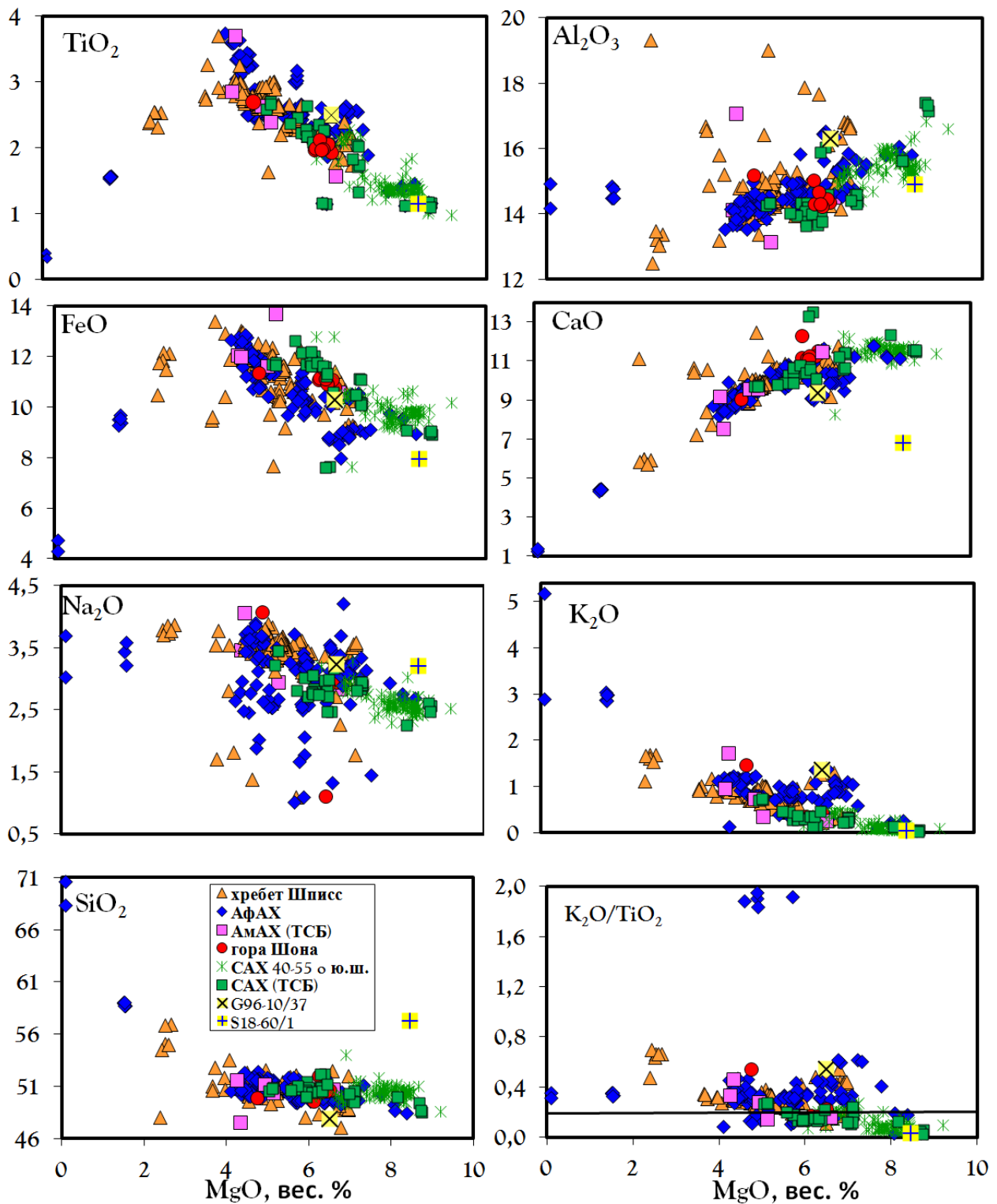
Характер распределения литофильных элементов в клинопироксенах сегмента АфАХ и хребта Шписс аналогичен и по характеристическим соотношениям редких элементов клинопироксены толеитов ТСБ близки к таковым из щелочных базальтов побережья Хоббс (Антарктический полуостров). Спектры редких элементов в клинопироксенах имеют отчетливые минимумы на Ba, Sr, Zr [Мигдисова и др., 2004].

По вариациям составов закалочных стёкол ( $\approx 300$ ) можно отметить, что расплавы сегмента АфАХ и хребта Шписс близки между собой и лежат на едином тренде дифференциации, но тренды фракционирования для расплавов АфАХ значительно шире, чем для хребта Шписс (рис. 4-2). Как наиболее магнезиальные расплавы (до 8.5% MgO), так и наиболее эволюционированные (до 1.5% MgO) встречены в сегменте АфАХ. Концентрации CaO и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> закономерно убывают в стеклах сравниваемых участков при падении концентрации MgO. Эти закономерности можно объяснить одновременной кристаллизацией оливина и плагиоклаза на ранних стадиях кристаллизации расплава. Позднее к этим двум кристаллизующимся минералам добавляется клинопироксен, существенно не влияя на картину содержания главных элементов относительно MgO. Содержания FeO и TiO<sub>2</sub> возрастают по мере убывания MgO, но с началом кристаллизации титаномагнетита, отмеченного в

шлифах, содержания FeO и TiO<sub>2</sub> начинают падать (при MgO ≈ 3.7%) (рис.4-2). Диапазон содержаний TiO<sub>2</sub> для хребта Шписс колеблется от 1% до 3.5%. Для сегмента АфАХ этот интервал практически такой же: от 1.4% до 4.1%. В среднем вариации концентраций FeO укладываются в диапазон от 13% до 7%. Самые низкожелезистые разновидности принадлежат к выборке стекол базальтов сегмента АфАХ. Обращает на себя внимание тот факт, что в пределах сегмента Буве обнаружено несколько образцов стекол с низкими содержаниями натрия, что, возможно, отражает участие в генерации первичных расплавов геохимически гетерогенных мантийных источников [Суцевская и др., 2003].

В стеклах хребта Шписс и сегмента АфАХ отмечаются повышенные концентрации K<sub>2</sub>O (для хр.Шписс от 0.5% до 1.7%, для района АфАХ от 0.1 до 3%). Исходя из вариаций отношения K<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> (> 0.2) стекла района ТСБ можно отнести к обогащенным толеитам [Danyushevsky et al., 1996]. В то же время в пределах района Буве отмечены излияния как обогащенных, так и деплетированных толеитов. Наиболее обогащенные стекла драгированы со склона острова Буве. Деплетированные стекла встречаются совместно с обогащенными в точках опробования на северном окончании сегмента АфАХ.

Самые примитивные составы расплавов в районе ТСБ встречены на южном борту разлома Буве (станция S18-10), а самые продвинутые разновидности обнаружены на станциях, расположенных на склоне острова Буве и на постепенном удалении от него, на хребте АфАХ (станции S18-19, S18-16, S18-37).

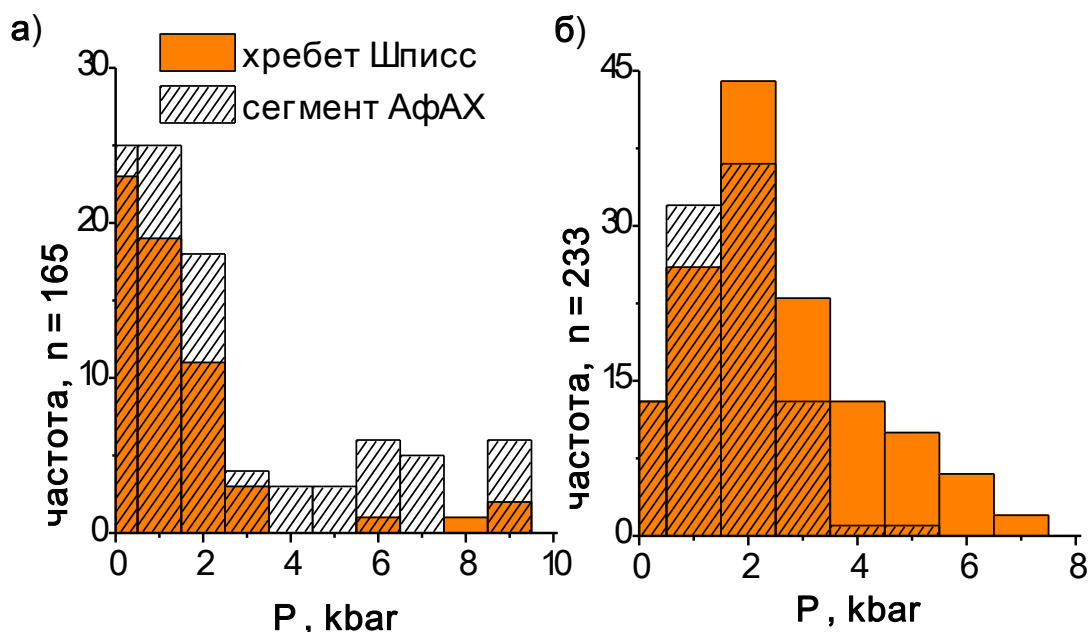


**Рисунок 4-2. Вариации главных элементов в стеклах базальтов района ТСБ в сравнении с расплавами ЮСАХ. Данные по содержаниям основных элементов в стеклах пород 40-55° ю.ш. САХ по [LeRoex et al., 1982, 1985] и <http://petdb.ldeo.columbia.edu/petdb>**



## 5. ОЦЕНКА СОСТАВОВ ПЕРВИЧНЫХ РАСПЛАВОВ, УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ И ВЫПЛАВЛЕНИЯ МАГМ ТСБ

Глубина кристаллизации магмы представляет собой важный параметр, позволяющий судить о природе магматических процессов и о локализации магматических резервуаров, что в свою очередь принципиально для воссоздания общей геодинамики района.



**Рисунок 5-1. Расчетные величины давления магмообразования под сегментом ТСБ. а – по составам клинопироксенов [Nimis, 1998]; б – по составам стекол: модель PETROLOG 2.1 [Danyushevsky et al., 2002]**

Клинопироксен является ликвидусной фазой крайне чувствительной к смене давления в магматической системе. На этом основании было разработано много методик, позволяющих оценить условия его кристаллизации [Sobolev, Dmitriev, 1989; Nimis, Ulmer, 1998; Нестеренко, Арискин, 1993]. Соотношение  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  (параметр  $\text{Ca}\# > 400$ ) в клинопироксенах толеитов ТСБ указывает на давления кристаллизации расплавов ниже 5 кбар [Нестеренко, Арискин, 1993]. Нами были рассчитаны оценочные давления при температуре 1150 °С (средняя температура очага) по 165 зернам клинопироксенов из базальтов сегмента ТСБ по методу [Nimis, 1997]. Кристаллизация расплавов ТСБ в основном шла в приповерхностных условиях: максимум точек приходится на давления 0-2 кбар.

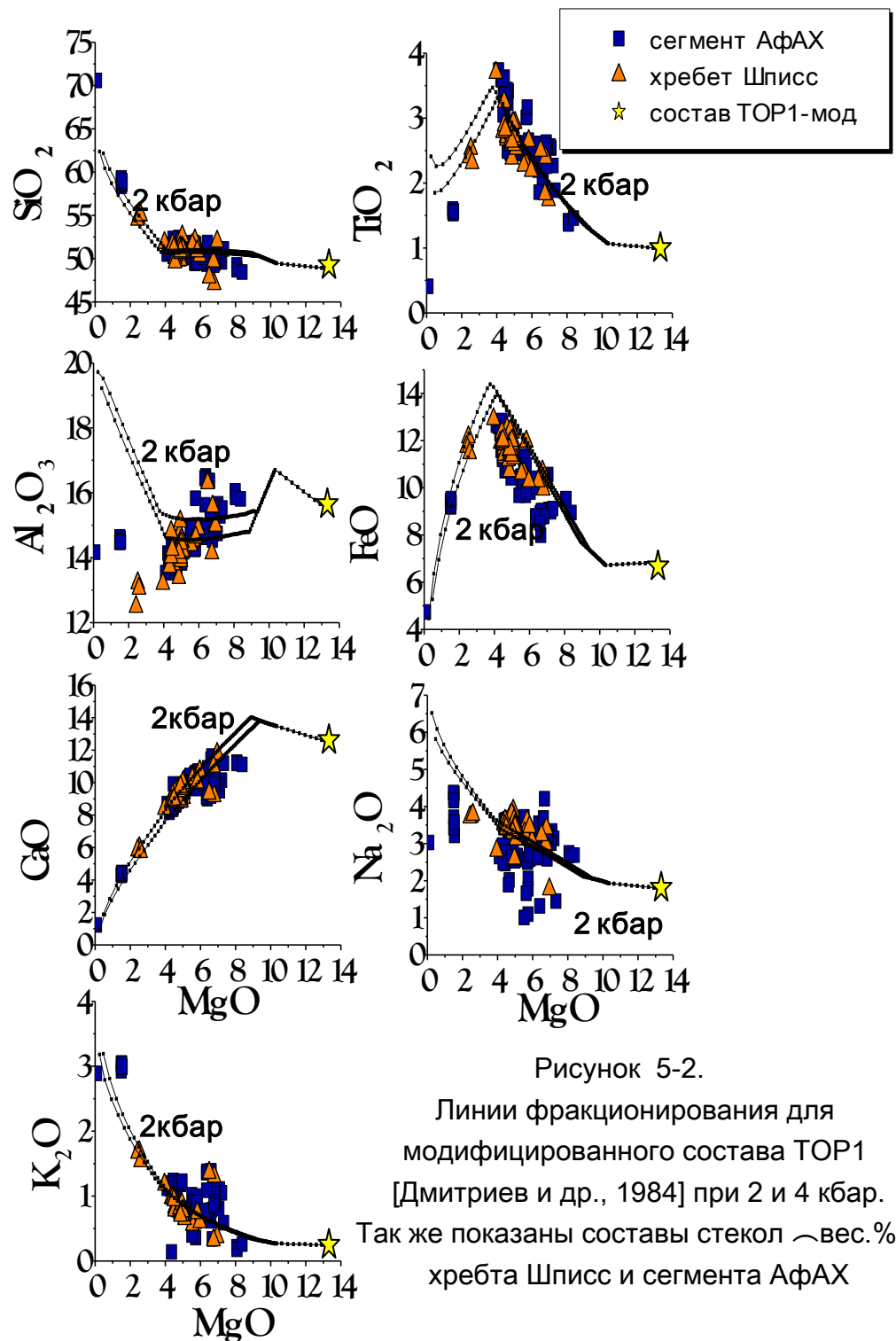
При этом надо отметить и более высокобарный «хвост» - 4-10 кбар, что может отражать кристаллизацию в более глубоких условиях (рис. 5-1а).

Модель PETROLOG позволяет рассчитать значения давления кристаллизации по составам закалочных стекол [Danyushevsky et al., 2002].

При

использовании этого математического аппарата были получены следующие величины: от 0 до 8 кбар (хребет Шписс) и от 0 до 6 кбар (сегмент АфАХ) (рис. 5-1б).

Оценка условий кристаллизации с использованием наиболее употребляемой для фракционирования толеитов программы КОМАГМАТ



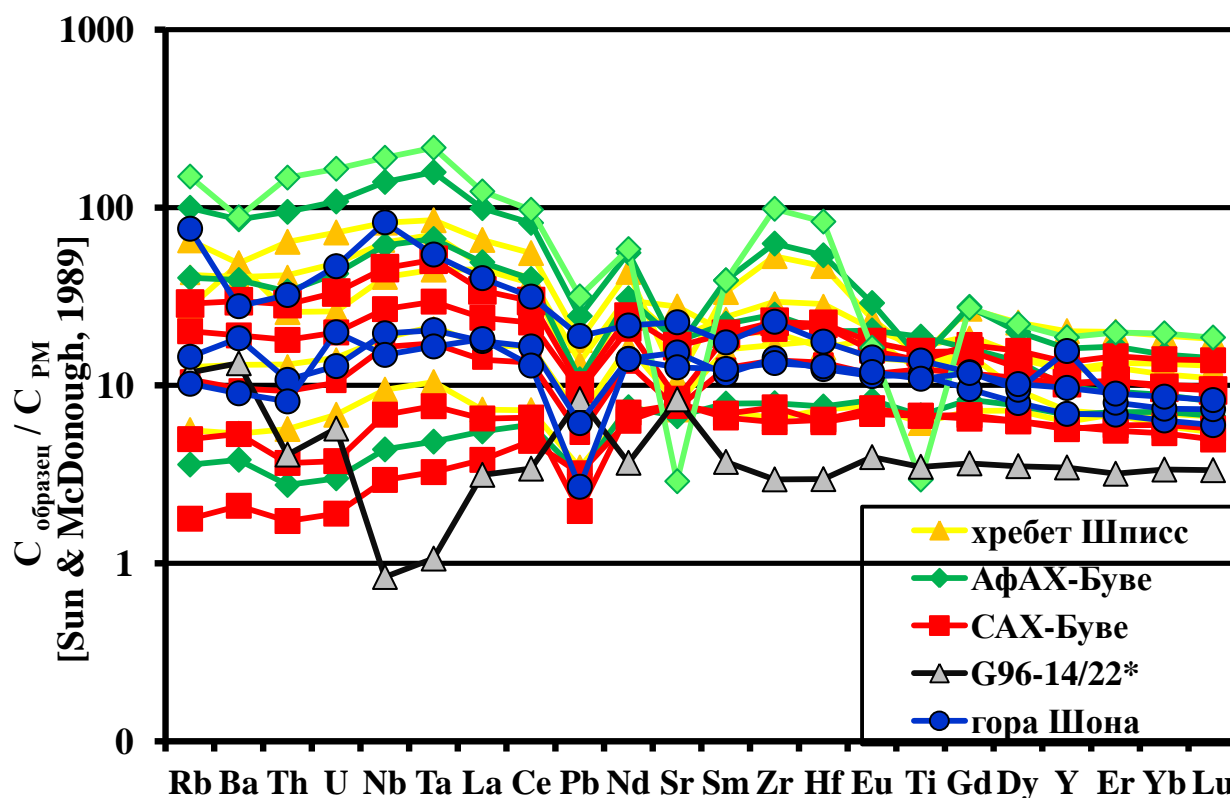
[Арискин и др., 1990] была проведена с учетом выбора первичных расплавов, выплавляемых в условиях АфАХ. Проведенный по данным экспериментального плавления мантийных гипербазитов анализ района АфАХ [Суцевская и др., 2003] показал, что первичные расплавы хр.Шписс и сегмента АфАХ близки к мантийным выплавкам из пиролита МРУ [Jaques & Green, 1980].

Выплавки из пиролита МРУ при средних степенях плавления (18-21%) и давлении 15 кбар имеют составы близкие к TOP-1. TOP-1 на ряду с TOP-2 и Na-TOP являются широко используемыми условными обозначениями геохимических типов толеитовых расплавов COX [Dmitriev et al., 1985]. Надо подчеркнуть, что первичный состав TOP-1 был установлен при исследовании гомогенных включений в наиболее магнезиальных ликвидусных оливинах реальных базальтов из района FAMOUS. Он рассчитан для равновесного состава расплава с наиболее магнезиальным оливином. Было проведено моделирование кристаллизации первичного расплава TOP-1 с незначительной корректировкой его состава (повышены содержания титана и калия).

Используя в качестве первичного состава магмы модифицированный состав TOP-1, мы уточнили величины давления кристаллизации в зависимости от летучести кислорода и содержания воды в расплаве. Последняя величина найдена согласно процедуре коррекции ликвидусных температур минералов в зависимости от содержания воды в магме [Альмеев, Арискин, 1996]. Кривые эволюции расплава, приведенные на рисунке 5-2, удовлетворительно воспроизводят картину природного распределения по большинству петрогенных окислов в диапазоне давлений 2-3 кбар, летучести кислорода в исходной магме, отвечающей величине  $FeO^{2+} / \Sigma FeO = 0.97$  (закрытая по кислороду система). Содержание воды в исходных расплавах TOP-1 не превышало 0.3 вес.% и составляло примерно 0.6 вес.% при приближении к полю наименее фракционированных составов стекол хребта Шписс. Вероятная последовательность кристаллизации следующая: оливин (1310°C), плагиоклаз (1239°C), клинопироксен (1203°C), магнетит (1090°C).

## 6. ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СПЕЦИФИКА РАСПЛАВОВ ТСБ

Геохимическая характеристика расплавов района ТСБ представлена содержаниями некогерентных элементов, определенными в стеклах (133 анализа), породах (11 анализов), а также изотопными отношениями Sr-Nd-Pb (37 образцов). Спектры литофильных элементов приведены на рисунке 6-1.



*Рисунок 6-1. Характер распределения несовместимых элементов в наиболее представительных составах закалочных стекол ТСБ*

Элементы расположены по степени уменьшения несовместимости с минеральными фазами. Видно, что спектры составов редких элементов района Буве близки между собой, а обогащенный характер распределения литофильных элементов, выдерживается в процессе дифференциации и накопления этих элементов в расплавах. На спектрах отмечаются характерные максимумы на Nb, La и минимумы на Ba, Th, U, Pb. Можно отметить, что спектры литофильных элементов ТСБ близки к спектрам Н1МУ и ЕМ-2, но при этом не имеют характерной для Н1МУ выраженной положительной аномалии на Ba [Hoffmann, 1997]. Большинство расплавов ТСБ образовывались главным образом из обогащенного мантийного источника (отношение  $(La/Sm)_n > 1$ )

[Суцевская и др., 1999]. Отдельно стоит отметить образец G96-14/22, имеющий иной характер обогащения по сравнению с остальными составами стекол ТСБ. Ему свойственна устойчивая отрицательная аномалия на Nb, Ta и положительные аномалии на Pb и Sr, что характерно для описанных в литературе образцов стекол с сегмента АфАХ 13-47° в.д. [Janney et al., 2005].

В то же время в районе ТСБ, а особенно в пределах примыкающего к сочленению отрезка САХ-Буве, отмечаются и типично деплетированные расплавы. Для расплавов ТСБ характерны высокие значения La/Ce (0.4-0.5) и Gd/Yb (1.5-3), что в MORB обычно указывает на присутствие граната в источнике (рис. 6-2) [Hoffmann, 1997], что в свою очередь может говорить о

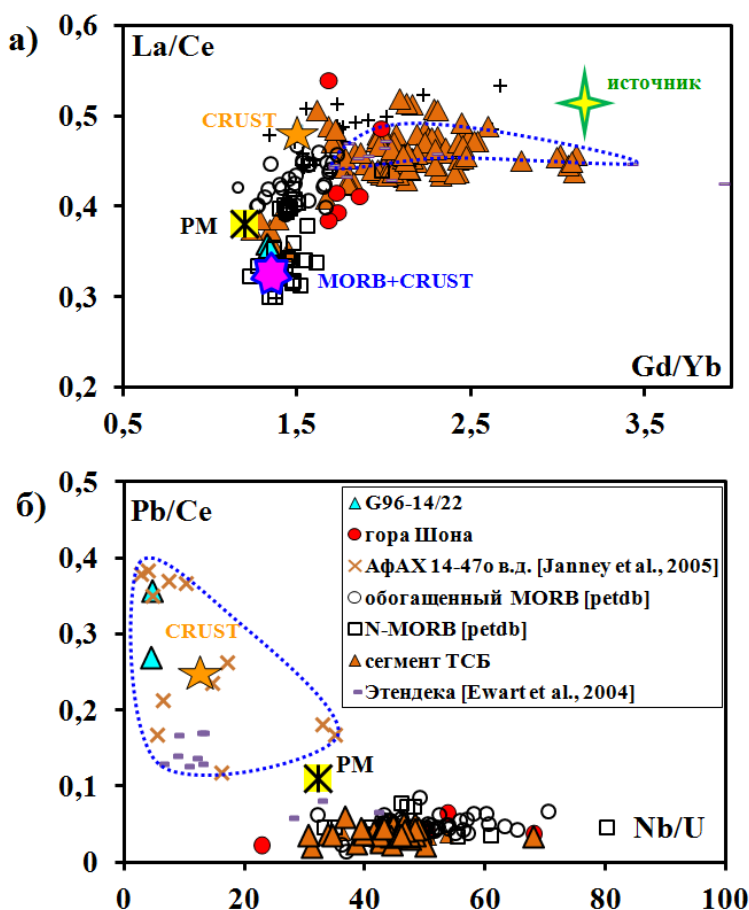


Рисунок 6-2. Характеристические отношения редких элементов в стеклах ТСБ и прилегающих областях. На рисунок нанесены значения примитивной мантии (PM), континентальной коры (CRUST) по White [1997], а также обогащенного источника MORB+CRUST [Stracke and Bourdon, 2009], представляющего собой смесь 85% рециклированного MORB и 15% нижнеконтинентальной коры.

Полям показаны породы Этендеки и сегмента АфАХ (14-47° в.д.)

плавлении пироксенита [Sobolev et al., 2005]. На рис. 6-2 видно, что незначительная часть составов стекол ТСБ ложится в поле составов деплетированного MORB САХ. При этом основное поле составов ТСБ близко базальтам горячих точек Шона и Дискавери (Южная Атлантика), обогащенный компонент которых, очевидно, имеет значения La/Ce = 0.5 и Gd/Yb = 3.2, что выше коровых значений [White., 1997]. Расплавам ТСБ свойственен характер

обогащения принципиально иной, нежели породам Этендеки, находящимся под

влиянием плюма и имеющим коровую метку с повышенными значениями Pb/Se и пониженными Nb/U (рис.6-2б). Расплавы ТСБ не образуют единую линию смещения деплетированного ТОР и обогащенного источника, что свидетельствует о том, что в пределах изучаемых провинций мы имеем серию обогащенных в разной степени первичных расплавов.

Полученные данные по содержанию радиогенных изотопов в образцах базальтов сегмента Буве лежат в интервале значений  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ : 0.703134 – 0.705901 и  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ : 0.512603 – 0.513182. Отношение  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  в толеитах района ТСБ колеблется от 18.13 до 19.64. Значения отношений  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  и  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  лежат в диапазоне 15.4-15.7 и 38.0-39.3, соответственно.

По характеру обогащения расплавы ТСБ имеют изотопные метки

средние между HIMU и EM-2 (рис. 6-3).

Также отмечены образцы (G96-10/37, G96-15/7),

обогащенный

конечный член для расплавов которых

может находиться в области между EM-1

и EM-2. В целом базальты ТСБ не

принадлежат к

обычным для СОХ деплетированным MORB. Они близки к базальтам острова Буве, но отличаются от обогащенных базальтов Южной Атлантики, Китового хребта, являющегося крупнейшим подводным поднятием, расположенным к северу от тройного сочленения Буве. Скорее их источник можно связать с обогащенным источником базальтов Антарктических островов и лампроитов Феррар [Riley et al., 2003], для которого характерны повышенные значения

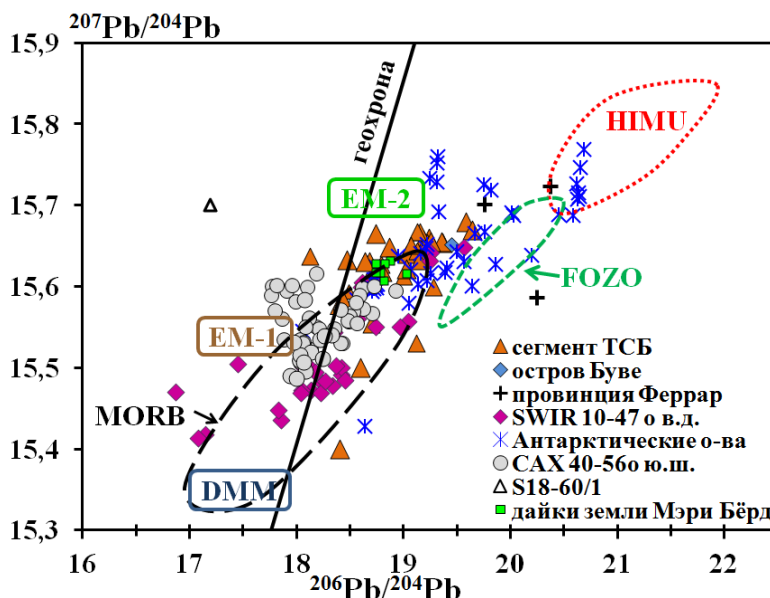


Рисунок 6-3. Вариации изотопных отношений Pb в ТСБ, а также в базальтах Антарктиды [Riley et al., 2003], АфАХ 10-47<sup>о</sup> в.д. [Janney et al., 2005], САХ 40-560 ю.ш. [Douglass et al., 1995], и данные для образца S18-60/1 [Kamenetsky et al., 2001]. Поля EM-1, EM-2, DMM (деплетированная мантия) даны по Hofmann [2003], а поля HIMU и FOZO по Stracke et al. [2005].

$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  (около 20) и  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  (15.8). Вероятно, образование толеитов ТСБ шло из неоднородного источника при смешении деплетированных расплавов обычного MORB и обогащенных расплавов состава среднего между EM-2 и HIMU.

## 7. СТЕПЕНЬ И ПРИЧИНА ОБОГАЩЕНИЯ ИСТОЧНИКА ТОЛЕИТОВОГО МАГМАТИЗМА ТСБ

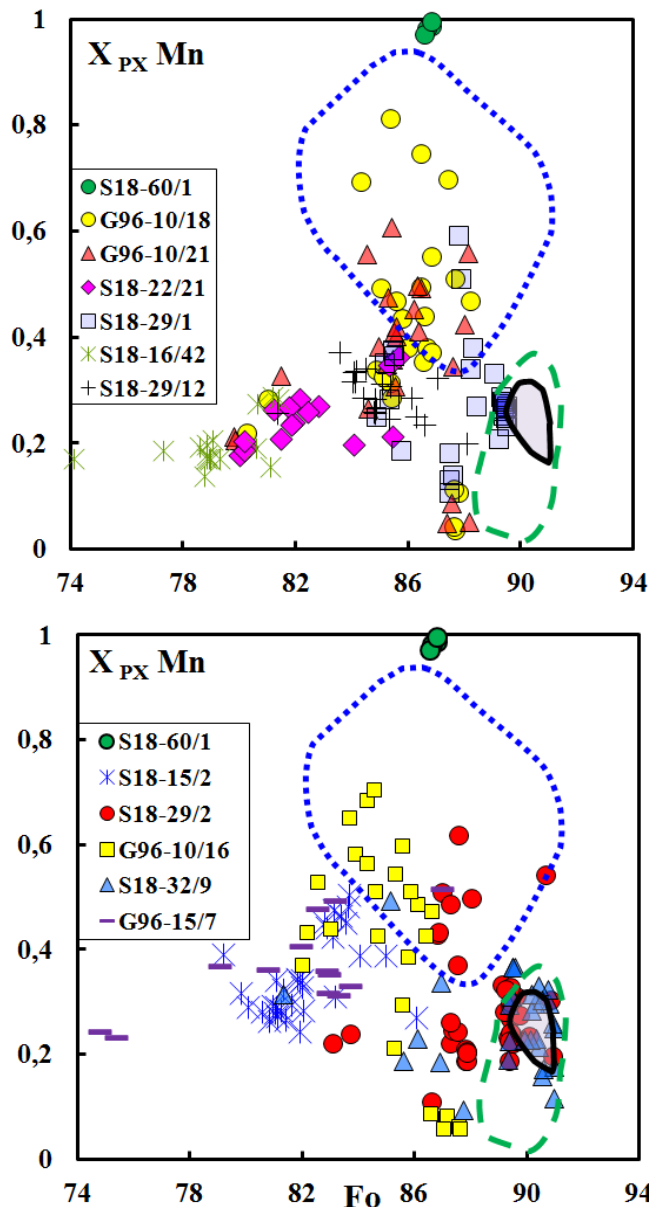


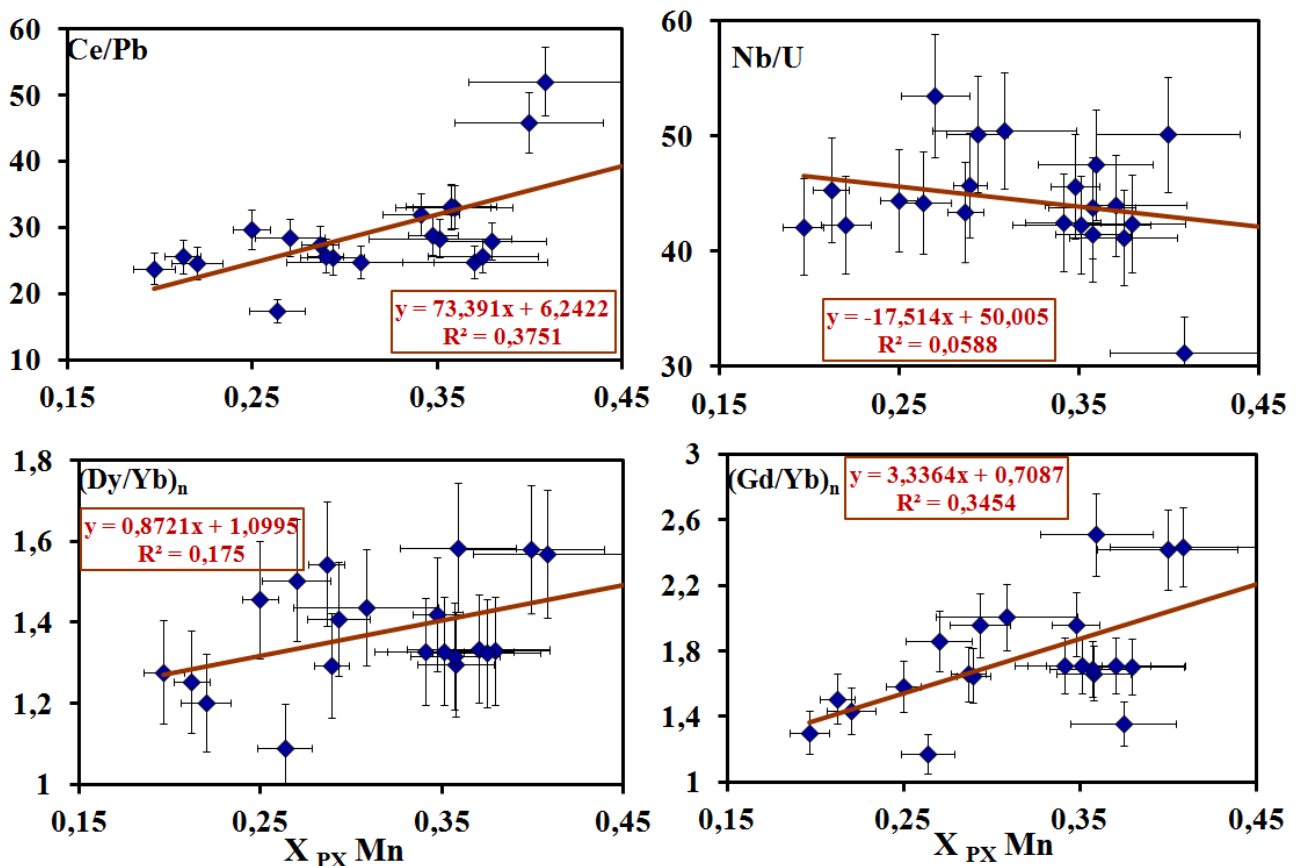
Рисунок 7-1. Вариации пироксенитовой составляющей  $X_{\text{pxMn}}$  относительно  $F_o$  в оливинах отдельных образцов (а, б).

Синим эллипсом очерчено поле составов Мауна Лоа (Гавайи), зелёной прерывистой очерчено поле MORB САХ, фиолетовым цветом закрашено поле Секейрос. Также представлен состав образца S18-60/1 [Kamenetsky et al., 2001].

$$X_{\text{pxMn}} = 3,483 - 2,071 * (100\text{Mn}/\text{Fe}) \text{ [Sobolev et al., 2007]}$$

Наличие гранатовых меток в обогащенных расплавах ТСБ поставило вопрос о природе и происхождении гранатового источника в области выплавления толеитов. Разработанная в последние годы методика [Sobolev et al., 2005, 2007] определения присутствия пироксенитовой мантии в источнике по составам ликвидусных оливинов позволила оценить вклад пироксенитовой составляющей ( $X_{\text{pxNi,Mn}}$ ) в перидотитовый источник ТСБ.

При плавлении пироксенита образуются



**Рисунок 7-2. Характеристические отношения Ce/Pb, (Dy/Yb)<sub>n</sub>, Nb/U, (Gd/Yb)<sub>n</sub> в зависимости от пироксенитовой компоненты  $X_{px} Mn$**

расплавы, обогащенные Si, Ni и обедненные Mg, Ca, Mn в сравнении с перидотитовыми выплавками в силу того, что в перидотите кристаллизующийся оливин контролирует содержания этих элементов в расплаве, тогда как в пироксените кристаллизация клинопироксена и/или граната не оказывает существенного влияния на их фракционирование. Таким образом, оливин, кристаллизующийся из расплавов, в источнике которых наряду с перидотитовой мантией была и пироксенитовая, будет иметь необычное обогащение Ni и обеднение Mn и Ca. Рассчитанное по формуле, предложенной [Sobolev et al., 2005, 2007], количество пироксенитовой составляющей в источнике расплавов ТСБ составляет 30-40%. Разброс этих значений очень велик, и разным структурам района соответствуют разные оценки  $X_{px} Ni, Mn$  (рис.7-1). Максимальное количество пироксенитовой компоненты достигает 90%, что уникально для базальтов океанических хребтов. Крайне важным представляется обнаружение разных количеств  $X_{px} Ni, Mn$  в пределах одной станции опробования и даже в пределах одного образца [Sobolev et al., 2007;



Migdisova et al., 2009]. Это наблюдение свидетельствует в пользу ранее высказывавшегося предположения о широком разнообразии первичных расплавов, участвовавших в образовании магм ТСБ.

Значимая положительная корреляция  $\text{Ce/Pb}$  с примесью пироксенитовой составляющей в породах ТСБ может говорить о связи пироксенитового источника района с рециклированной океанической корой (рис.7-2). Отношения  $(\text{Gd/Yb})_n$  и  $(\text{Dy/Yb})_n$  также положительно коррелируют с  $X_{\text{PX}}\text{Mn}$  ( $R^2 = 0.35$ ,  $R^2 = 0.18$ , соответственно), что свидетельствует о наличии граната в источнике (рис.7-2). Континентальной коры ( $\text{Nb/U} < 40$  [Hoffmann, 1997]) в источнике ТСБ, скорее всего нет, о чем свидетельствует отсутствие корреляции  $\text{Nb/U}$  с  $X_{\text{PX}}\text{Mn}$ .

#### Фракционирование

отношений  $\text{Zn/Fe}$  и  $\text{Zn/Mn}$  в расплавах [Sobolev et al., 2007; LeRoux et al., 2010; Qin, Нумаун, 2008] позволяет подтвердить присутствие граната и/или клинопироксена в источнике, т.к. оливин является единственной фазой в перидотите, для которой  $K_D\text{Fe} > K_D\text{Mn}$  [Sobolev et al., 2007]. Эти параметры также имеют значимые корреляции с геохимическими маркерами

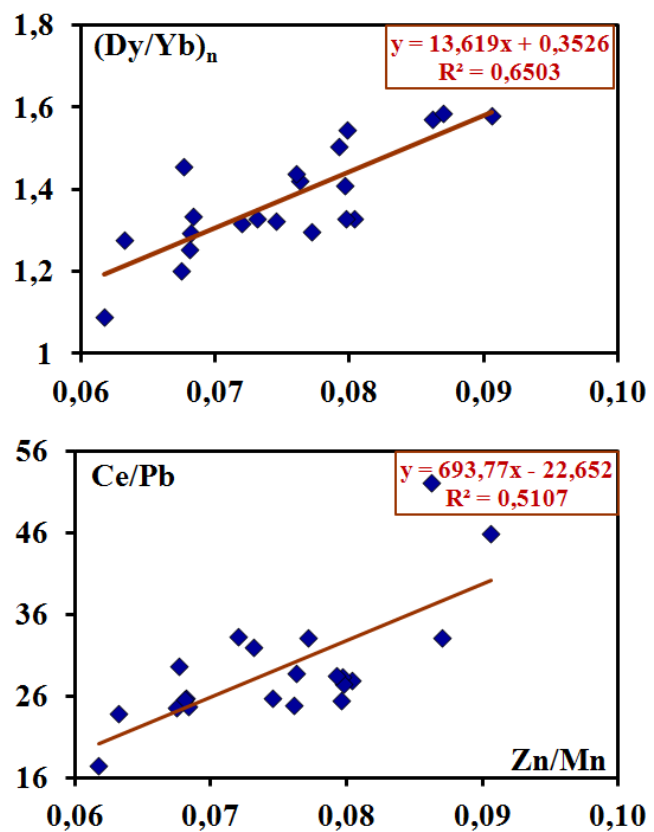
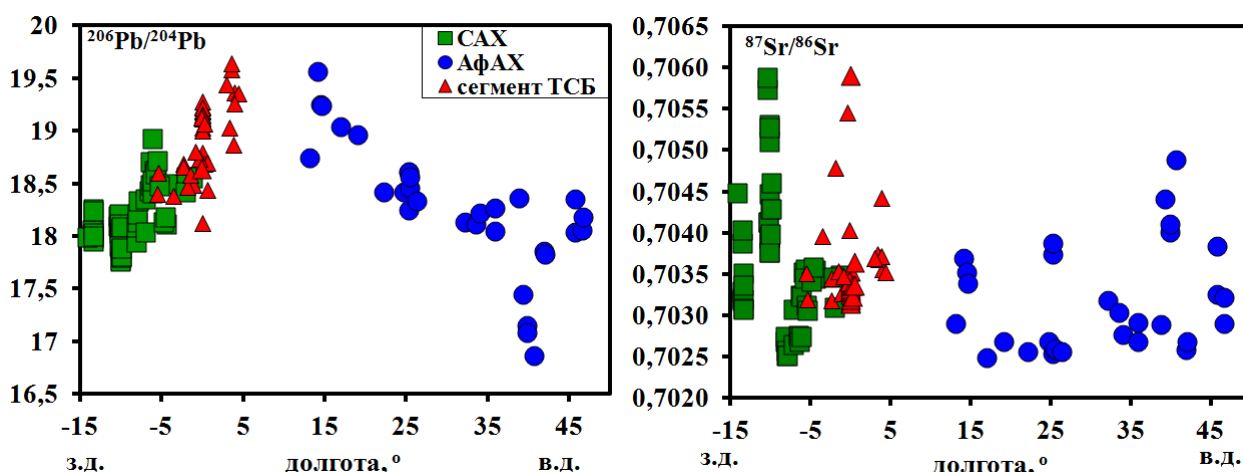


Рисунок 7-3. Зависимость характеристических отношений редких элементов  $\text{Ce/Pb}$  и  $(\text{Dy/Yb})_n$  от отношения  $\text{Zn/Mn}$  ( $R^2 = 0.65$ ,  $R^2 = 0.51$ , соответственно), что подтверждает гранатовую природу источника и наличие меток океанической коры в нем (рис.7-3). Отношение  $\text{Ce/Pb}$  достигает 50, маркируя, таким образом, значения

этого параметра для «конечного члена» примесного пироксенитового компонента.

## 8. СВЯЗЬ МАНТИЙНОЙ ГЕТЕРОГЕННОСТИ С ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИЕЙ ТРОЙНОГО СОЧЛЕНЕНИЯ ХРЕБТОВ В ЮЖНОЙ АТЛАНТИКЕ

Выявленная геохимическая гетерогенность района ТСБ, связанная с участием в плавлении фрагментов пироксенитовой мантии, вероятно, во многом обусловлена сложным геодинамическим развитием Южной Атлантики. В отличие от прилегающих районов САХ и АфАХ сегменты ТСБ, включающие в себя хребет Шписс и область АфАХ до 6° в.д., отличаются повышенными радиогенными изотопами Sr, Pb (рис.8-1) и специфическими обогащенными спектрами литофильных элементов. Характер обогащения прослеживается вдоль хребта вплоть до разломной зоны Андре - Байан [Сущевская и др., 1996]



**Рисунок 8-1.** Вариации изотопных отношений в расплавах сегмента ТСБ и примыкающих к нему участков САХ и АфАХ в зависимости от долготы станции опробования. Можно отметить широкие вариации характеристических изотопных отношений в районе Тройного сочленения Буве.

Район ТСБ формировался в Южной Атлантике в области проявления плюма Кару-Мод-Феррар, предопределившего раскол Гондваны примерно 180-170 млн лет назад, и в дальнейшем претерпел сложную многостадийную эволюцию в соответствии с историей дрейфа гондванских материков и развитием соответствующих спрединговых хребтов [Ben-Avraham et al., 1995] (рис. 8-2). Раскол привел к отделению Антарктиды от Восточной Африки, Западной Африки от Южной Америки и формированию спрединговых хребтов (АфАХ и

ЮСАХ) с образованием здесь первой в истории региона океанической коры 140–130 млн. лет назад [Lawver et al., 1985]. Молодые спрединговые хребты продвигались в юго-западном и южном направлениях таким образом, что 119–124 млн. лет назад произошло образование замкнутой системы границ трех плит: Антарктической (АНТ), Африканской (АФР) и Южноамериканской (ЮАМ) и формирование первого тройного сочленения Буве 1, расположенного в юго-восточной оконечности Фолклендского плато. Около 93-105 млн. лет назад образовалось ТС Буве 2, и от 30 млн. лет назад до настоящего времени современное ТС Буве 3 [Дубинин и др., 1999].



**Рисунок 8-2. Реконструкция района тихоокеанской окраины в поздне-юрское время (175 Ma) по [Ven-Avraham et al., 1995]. Можно отметить существование древней островной дуги, окружающей район Южной Атлантики (синяя линия), а также образование мелких плит (главные из которых представлены Уэддельским блоком и Лафонией), разделенных рифтовыми зонами. Современные горячие точки Шона и Буве (звездочки) приурочены к области распространения суперплюма Кару Мод – Феррар (серое поле), возникшего примерно 180 млн. лет назад**

Таким образом, несколько важных событий, предшествующих современному рифтовому магматизму вблизи ТСБ, не могло не повлиять на образование существенных мантийных неоднородностей в данной области. Это - близость островной дуги, зарождение и проявление крупного плюма, образование мелких плит и блоков, формирование неустойчивых спрединговых зон, в пределах которых генерировалась древняя океаническая кора, прорыв

астеносферного потока из Тихого океана в Атлантический. В ходе таких геодинамических перестроек не в один этап под всем регионом Южной Атлантики формировалась метасоматизированная, обогащенная субокеаническая мантия, несущая характеристики пироксенитовой мантии, с изотопными чертами обогащенных источников HIMU и EM-2. В процессе возможных перескоков осей спрединга она вовлекалась в разных пропорциях в плавление под воздействием поднимающейся более высокотемпературной астеносферной лерцолитовой мантии.

### **ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ:**

**I. Родоначальные расплавы района ТСБ близки к расплавам, полученным в ходе экспериментов по равновесному плавлению мантийного перидотита MPY [Green et al., 1979] при давлениях около 15 кбар, температуре 1350°C и степени плавления 15-20%. Полученные оценочные давления кристаллизации магм района ТСБ, с использованием различных геобарометров, а также численное решение задачи фракционной кристаллизации первичного расплава, близкого к TOP-1, указывает на вероятное протекание процессов при давлении 2-4 кбар при температуре 1100-1150°C.**

**II. По геохимическим характеристикам магмы ТСБ образовывались из обогащенного литофильными элементами мантийного источника. Расплавы сегмента АфАХ и хр.Шписс демонстрируют аналогичные значения радиогенных изотопов и тяготеют к обогащенному мантийному источнику современных лав Антарктического полуострова. Возможно, этот источник представляет собой смесь EM-2 и HIMU, предлагаемых в качестве крайних членов обогащенных геохимических компонентов [Stracke et al., 2005].**

**III. По содержаниям Ni и Mn в ликвидусных оливинах базальтов и характеристическим отношениям литофильных элементов в стеклах установлено, что в процессе выплавления толеитов района ТСБ принимал участие пироксенитовый источник, несущий геохимические**

характеристики древней океанической литосферы. Количество пироксенитовой составляющей для первичных расплавов изучаемого района варьирует в большом диапазоне (до 90%), что указывает на широкую мантийную неоднородность района ТСБ.

**IV. Широкая геохимическая мантийная гетерогенность района ТСБ непосредственно связана с геодинамической эволюцией тройного сочленения хребтов в Южной Атлантике. В процесс плавления на ряду с деплетированной астеносферной океанической мантией могла вовлекаться древняя океаническая литосфера. Близость островной дуги, зарождение и проявление крупного плюма, вероятное присутствие континентальных отторженцев в виде мелких плит и блоков, формирование неустойчивых спрединговых зон, в пределах которых генерировалась древняя океаническая кора, прорыв астеносферного потока из Тихого океана в Атлантический – вот те факторы, которые в той или иной степени запечатлены в современном магматизме спрединговых зон западного окончания АфАХ.**

#### **СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

##### Статьи

1. Н.М. Сущевская, Е.В. Коптев-Дворников, **Н.А. Мигдисова**, Д.М. Хворов, А.А. Пейве, С.Г. Сколотнев, Б.В. Беляцкий, В.С. Каменецкий. Особенности процесса кристаллизации и геохимии толеитовых магм западного окончания Африкано-Антарктического хребта (хребет Шписс) в районе тройного сочленения Буве. *Российский журнал наук о Земле*, 1999, Т.1, №3, с.221-250

2. Н.М. Сущевская, **Н.А. Мигдисова**, Б.В. Беляцкий, А.А. Пейве. Образование обогащенных толеитовых магм в пределах западной части Африкано-Антарктического хребта (Южная Атлантика). 2003, *Геохимия* №1, с.3-24.

3. **Н.А. Мигдисова**, Н.М. Сущевская, А.В. Латтенен, Е.М. Михальский. Вариации составов клинопироксенов базальтов различных геодинамических обстановок из района Антарктиды. *Петрология*, 2004, том 12, №2, с. 206-224

**N.A. Migdisova**, N.M. Sushchevskaya, A.V. Luttinen, and E.M. Mikhal'skii. Variations in the composition of clinopyroxene from the basalts of various geodynamic settings of the Antarctic region. *Petrology*, Vol.12, No. 2, 2004, pp. 206-224

4. Крымский Р. Ш., Н. М. Суцевская, Б. В. Беляцкий, **Н. А. Мигдисова**. 2009. ДАН Т.428.№1. С.87-92.

Krymsky R.Sh., N.M. Sushchevskaya, B.V. Belyatsky, **N.A. Migdisova**, Peculiarities of the osmium isotopic composition of basaltic glass from the Western Termination of the Southwest Indian Ridge, DAN, Vol. 428, №1, pp. 87-92, 2009.

#### **Статьи в периодических изданиях**

**1. Egorova (Migdisova) N.A.**, Sushchevskaya N.M., Khvorov D.A., Koptev-Dvornikov E.V. and Kononkova N.N. «Mathematical simulation and specific features of crystallization of tholeiite magmas during the formation of the subaqueous Spiess ridge». Experiment in Geosciences. 1997. Vol.6. No 2. P. 20-22.

**2. Migdisova N.A., Khvorov D.M., Sushchevskaya N.M.** Estimating conditions of enriched primary melt formation near Bouvet hot spot. Электронный научно-информационный журнал «Вестник Отделения наук о Земле РАН» № 1(22), 2004. URL: [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dgggms/1-2004/informbul-1\\_2004/term-23e.pdf](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2004/informbul-1_2004/term-23e.pdf)

#### **Тезисы**

**1.** Belyatsky Boris, Anton Antonov, Robert Krymsky, Elena Lepekhina, **Natalia Migdisova**, Nadezhda Sushchevskaya. Isotope-geochemical features of tholeiites from the Spiess Ridge (South Atlantic), Geophysical Research Abstracts, Vol. 13, EGU General Assembly 2011.

**2. Migdisova N.A.**, Sushchevskaya N.M., Sobolev A.V., Kuzmin D, Olivine and Clinopyroxene in tholeiites as indicators of ocean magmas origin, Geophysical Research Abstracts. Vol. 13, EGU2011-PREVIEW, EGU General Assembly, 2011

**3. Migdisova N.A.**, Sobolev A.V. Insight in the nature of enriched primary melts of Bouvet Triple Junction using modern approaches in geochemistry. InterRidge, Russian Ridge, Main Results in Russian Study of the Mid-Oceanic Ridge Processes in the First Decade of XXI, 2011, Moscow. **Мигдисова Н.А.**, Соболев А.В. Оценка первичных расплавов обогащенных толеитов района тройного сочленения Буве с помощью новейших геохимических методов. Процессы в срединно-океанических хребтах – что нового дало первое десятилетие 21 века в их изучении? Рабочее совещание Российского отделения международного проекта InterRidge 1-2 июня 2011, Москва.

**4. Migdisova N.A.**, Sobolev A.V., Sushchevskaya N.M., Kuzmin D. Mantle Heterogeneity revealed under the western end of South west Indian Ridge (SWIR) near the Bouvet Triple Junction (BTJ), Alpine Ophiolites and Modern Analogues, Continental rifting to oceanic lithosphere: insights from the Alpine ophiolites and modern oceans. Abstract volume, p. 47. Parma, Italy, September 30/October 2, 2009.

**5. Migdisova N.A.**, Sushchevskaya N., Belyatsky B.V. Enriched tholeiites formation in the region of the Bouvet triple junction. EUS XI, Strasbourg, France, 2001. Abs. Volume, p.459.

**6. Migdisova N.A.**, Sushchevskaya N.M. Variations in the composition of clinopyroxene from the basalts of various geodynamic settings of the Antarctic region Abst.Goldschmidt 2004, Copenhagen. P. A586.

**7. Migdisova N.A.**, Sushchevskaya N.M., Belyatsky B.V. Isotope-geochemical features of enriched mantle source of rift tholeiites from Bouvet Triple Junction (South Atlantic) Goldschmidt Conference Abstracts, p.1466, 2011, Prague.

**8. Migdisova Natalia**, Alexander Sobolev, Nadezhda Sushchevskaya, Boris Belyatsky, Dmitrii Kuzmin. Mantle Evolution under the Bouvet Triple Junction (SMAR) from the aspect of tectonic and geochemistry. Geophysical Research Abstracts, Vol. 12, EGU2010 – 10307, 2010.

**9. Migdisova, N.A.**, Sushchevskaya, N.M., Sobolev, A.V. & Kuzmin, D. Olivine and clinopyroxene in tholeiites as indicators of ocean magmas origin. IMA 2010. 20th General Meeting of the International Mineralogical Association (21–27 August, 2010) Budapest, Hungary. Acta Mineralogica-petrographica, Abstract series, Volume 6, p. 515, 2010.

10. **N.A.Migdisova**, N.M.Sushchevskaya, B.V.Belyatsky. The Source and the Character of Enrichment of Tholeiitic Magmas Developed on the Spreading Ridges near the Bouvet Triple Junction Godl.Conf. Abstr. 2007. A664
11. **Беляцкий Б.В., Н.А. Мигдисова**, Н.М. Суцевская. Изотопная неоднородность плавящегося источника базальтового магматизма района Тройного Сочленения Буве (Южная Атлантика). XIX симпозиум по геохимии изотопов имени академика А.П. Виноградова (16-18 ноября 2010 г.) Тезисы докладов/ ГЕОХИ РАН – М: Акварель, 2010, с. 26-28.
12. **Беляцкий Б.В., А.В. Антонов, Р.Ш. Крымский, Е.Н. Лепехина, Н.А. Мигдисова**, Н.М. Суцевская. Изотопно-геохимические особенности состава толеитов хребта Шписс (Южная Атлантика). XIX симпозиум по геохимии изотопов имени академика А.П. Виноградова (16-18 ноября 2010 г.) Тезисы докладов/ ГЕОХИ РАН – М: Акварель, 2010, с. 29-32.
13. **Мигдисова Н.А.**, Соболев А.В., Суцевская Н.М. Вариации составов оливинов и расплавов толеитовых базальтов сегмента Буве в районе хр.Шписс (ЮЗИХ, САХ). Ежегодный семинар по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии (ЕСЭМПГ-2008), 22-23 апреля 2008г. тез. докладов. Москва, ГЕОХИ, 2008, с. 52.
14. **Мигдисова Н.А.**, Суцевская Н.М., Дубинин Е.П., Соболев А.В. Формирование океанической коры в районе Тройного Сочленения Буве. Геология полярных областей Земли. Материалы XLII Тектонического совещания. Том 2. – М.: ГЕОС, 2009, с. 44-47.
15. **Мигдисова Н.А.**, Суцевская Н.М., Каменецкий В.С., Беляцкий Б.В. Петрогенезис и геохимия обогащенных рифтовых магм Южной Атлантики (40-56° ю.ш.) Рабочее совещание Российского отделения международного проекта «Inter Ridge», Москва, 2003, ГЕОХИ, с.32.
16. **Мигдисова Н.А.**, Суцевская Н.М., Латтенен А.В., Михальский Е.М. Оценка условий формирования базальтовых магм по составам клинопироксенов. Ежегодный семинар по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии (ЕСМППГ – 2003), 22-23 апреля, с.46
17. **Мигдисова Н.А.**, Суцевская Н.М., Хворов Д.М. Сравнительная оценка условий кристаллизации толеитовых расплавов в области западного окончания Африкано-Антарктического хребта. XIV Российское совещание по экспериментальной минералогии. Черноголовка. 2001, тез.докладов, с.59
18. **Мигдисова Н.А.**, Суцевская Н.М., Хворов Д.М. Формирование обогащенных толеитовых базальтов под хребтом Шписс (Южная Атлантика), тезисы докл. XI11 Международной школы по морской геологии. «Геология морей и океанов» Т. 2. Москва, ИО РАН, 1999, с. 423
19. **Мигдисова Н.А.**, Хворов Д.М, Суцевская Н.М. Оценка условий образования обогащенных первичных расплавов, формирующихся в рифтовой зоне вблизи горячей точки Буве. Ежегодный семинар по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии (ЕСЭМПГ-2004), 20-21 апреля 2004г. тез. докладов. Москва. ГЕОХИ, 2004, с. 48-49.
20. Суцевская Н.М., Летченков Г., Беляцкий Б.В., Цехоня Т.И., Михальский Е.М., Борисова А.Ю., **Мигдисова Н.А.** Тектоно-магматическая эволюция литосферы Южного океана. РФФИ, В Материалах Всероссийской научной конференции «Геология, геохимия, геофизика на рубеже XX и XXI веков» т.2, Москва, ООО «Связь-Инвест», с.185-186.
21. Суцевская Н.М., **Мигдисова Н.А.**, Дубинин Е.П. Условия формирования обогащенных толеитовых магм вблизи острова Буве (западное окончание Африкано-Антарктического хребта) Тез.Докл. «Геология и геофизика Срединно-Океанических хребтов» 2001. Санкт-Петербург, ВНИИОкеанология, с.19
22. Хворов Д.М., **Мигдисова Н.А.**, Суцевская Н.М., Коптев – Дворников Е.В. “Условия генерации морских базальтов района тройного сочленения Буве, Ю.Атлантика”, тезисы докладов XIX Всероссийского семинара «Геохимия магматических пород» Москва, ГЕОХИ РАН, 2000, с. 152-153.