

УДК 550.84: 552.313

НЕОДНОРОДНОЕ СТРОЕНИЕ ОКЕАНИЧЕСКИХ БАЗАЛЬТОВЫХ СТЕКОЛ ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ И ИК ФУРЬЕ МИКРОСПЕКТРОМЕТРИИ

© 2009 г. М. А. Крылова*, С. М. Лебедева*, В. Н. Быков*, В. А. Симонов**

**Институт минералогии УрО РАН*

456317, Челябинская обл., г. Миасс

E-mail: maryakrylova@mail.ru

***Институт геологии и минералогии СО РАН*

630090, г. Новосибирск, просп. акад. Коптюга, 3

E-mail: simonov@uiggm.nsc.ru

Поступила в редакцию 4 мая 2009 г.

Детально исследован состав, структура и спектроскопические особенности океанических базальтовых стекол района тройного сочленения Буве (Южная Атлантика). Показано, что они обладают сложным строением, связанным с существованием кристаллических фаз разной степени упорядочения, вариолей, а также различных областей неоднородности в стекле. Впервые проведено исследование океанических базальтовых стекол методом ИК Фурье микроспектротометрии, получены инфракрасные спектры отражения вариолей и фенокристаллов в матрице стекла. С помощью растровой электронной микроскопии и ИК Фурье микроспектротометрии изучен состав и структура областей неоднородности, вариолитовых образований и минеральных фаз в базальтовых стеклах.

Ключевые слова: *базальтовые стекла, строение, состав, спектроскопия.*

ВВЕДЕНИЕ

Океанические базальтовые стекла представляют собой важные объекты, исследование которых дает информацию о современном магматизме Земли, составе и эволюции мантийных магм. Стекло является термодинамически неустойчивой фазой, находящейся в метастабильном состоянии, для которой характерна постепенная перестройка структуры, связанная с процессами самопроизвольной кристаллизации [2]. Этот процесс имеет большое значение особенно для природных стекол, как правило, представляющих собой гетерогенные образования, в которых всегда присутствуют кристаллические фазы, возникшие по тому или иному механизму. Природные стекла несут информацию о химизме расплавов, их термической истории и объеме этой информации увеличивается при их совместном изучении с сосуществующими кристаллическими фазами [6, 11].

Целью данной работы являлось детальное исследование состава, структуры и спектроскопических особенностей природных базальтовых стекол района тройного сочленения Буве (Южная Атлантика).

МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Базальтовые стекла были изучены с помощью комплекса современных физических методов. Петрографические исследования природных стекол

были выполнены с помощью оптического микроскопа AxioLab, который оснащен современной цифровой фотокамерой. Электронно-микроскопические исследования, с определением составов магматических стекол и сосуществующих включений были выполнены на растровом электронном микроскопе РЭММА-202. Локальные исследования базальтовых стекол методом инфракрасной спектроскопии отражения проводились с помощью ИК Фурье-спектрометра NEXUS-870 с микроскопом Continuum. Измерения были выполнены на шлифах с участков размером 20–50 мкм в интервале частот 400–1600 см⁻¹.

В Южной Атлантике, в районе острова Буве, находится область сочленения трех срединно-океанических хребтов: Американо-Антарктического (ААХ), Срединно-Атлантического (САХ) и Юго-Западного Индийского (ЮЗИХ, в русских атласах – Африканско-Антарктический), и соответственно, Антарктической, Южно-Американской и Африканской плит [4, 7, 8]. Район является уникальным, т.к. на магматические системы соединяющихся здесь срединно-океанических хребтов накладывается аномальный магматизм “горячей точки” о-ва Буве. В результате наблюдается широкий спектр пород, представляющих расплавы от типичных нормальных (типа N-MORB) до обогащенных (типа E-MORB) базальтов срединно-океанических хребтов и обогащенных (типа OIB) внутриплитных плюмовых базальтов океанических островов [9, 10]. Соответственно присутствуют базальтовые

стекла, отвечающие по своему составу различным магматическим системам.

В данной работе приводятся результаты исследования образцов базальтовых стекол, отобранных с помощью драгировочных станций во время 18-го рейса НИС “Академик Николай Страхов” (1994 г.) в районе тройного сочленения Буве при непосредственном участии одного из авторов [4, 8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе работы было изучено 11 образцов базальтовых стекол из различных зон тройного сочленения Буве. Образцы из драгировочных станций S18-10 и S18-48 представляют магматические системы срединно-океанических хребтов (N-MORB и E-MORB типов). Стекла из станций непосредственно около о-ва Буве (S18-16, S18-19, S18-30) отражают влияние обогащенных (типа OIB) внутриплитных плюмовых базальтов океанических остро-

вов. Образцы представляют собой обломки потоков плитчатых и подушечных лав. Большая часть исследованных образцов характеризуется порфировой (микропорфировой) структурой. Порфировые выделения представлены плагиоклазом, оливином и пироксеном, которые находятся в стекловатой темной, почти черной матрице.

Порфировые выделения базальтов

Плагиоклаз наблюдается в виде крупных удлиненных призматических и таблитчатых кристаллов длиной от 0.5 до 3 мм. Отчетливо проявлены две генерации. Первая – крупные таблитчатые и призматические кристаллы с полисинтетическими и простыми двойниками с включениями вулканического стекла разной формы и размера. Вторая – мелкие (0.1–0.2 мм) лейстовидные кристаллы с тонкими полисинтетическими двойниками. Встречаются кристаллы скелетной формы часто с бахромой

Таблица 1. Составы вкрапленников минералов в базальтовых стеклах (мас. %)

№ образца Оксиды	S18-48/20	S18-16/37	S18-31/1	S18-30/3	S18-19/16	S18-48/6	S18-16/40	S18-16/12	S18-37/2
Плагиоклазы									
SiO ₂	53.98	53.63	55.01	53.92	54.13	52.86	54.83	55.31	54.93
TiO ₂	0.12	0	0.15	0.00	0.00	0.10	0.00	0.22	0.00
Al ₂ O ₃	27.60	27.37	26.58	27.77	26.52	27.08	26.12	26.35	26.55
FeO	1.65	2.25	1.53	1.27	3.09	2.40	2.41	1.96	2.02
MnO	0.70	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	11.86	11.67	10.49	12.81	10.78	13.57	11.05	10.81	10.98
CaO	3.75	4.50	5.10	3.82	4.59	2.90	5.20	4.89	5.16
Na ₂ O	0.21	0.25	0.21	0.10	0.30	0.16	0.19	0.20	0.00
K ₂ O	1.65	2.25	1.53	1.27	3.09	2.4	2.41	1.96	2.02
Сумма	99.87	99.67	99.39	99.7	99.41	99.07	99.8	99.74	99.63
Ап, %	63.1	58.1	52.5	64.7	55.4	71.5	53.6	54.2	54.1
Количество зерен	7	2	4	5	6	3	3	5	5
Оливины									
SiO ₂	38.67	38.61	39.48	39.61	38.32	40.30	38.54	37.82	38.29
FeO	21.26	24.13	22.96	18.32	23.50	14.12	24.55	26.23	25.63
MnO	0.32	0.92	0.23	0.46	0.15	0.20	0.83	0.70	0.65
MgO	39.46	36.17	37.06	41.44	37.26	45.12	35.96	35.08	35.34
CaO	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Сумма	99.84	99.83	99.73	99.84	99.23	99.74	99.88	99.82	99.91
Фо, %	76.5	72.0	74.0	79.7	73.7	84.9	71.6	69.9	70.5
Количество зерен	6	3	8	7	6	5	4	2	4
Пироксены									
SiO ₂	-	49.22	49.55	50.54	-	-	-	48.86	48.50
TiO ₂	-	2.32	1.11	1.39	-	-	-	1.58	1.37
Al ₂ O ₃	-	4.13	4.58	3.45	-	-	-	3.58	3.67
FeO	-	9.25	9.62	7.11	-	-	-	10.70	9.77
MnO	-	0.01	0.06	0.04	-	-	-	0.13	0.08
MgO	-	15.10	15.30	16.90	-	-	-	15.10	15.60
CaO	-	19.45	18.97	19.77	-	-	-	19.75	19.74
Na ₂ O	-	0.28	0.66	0.45	-	-	-	0.14	0.15
Сумма	-	99.78	99.86	99.67	-	-	-	99.85	99.90
En, %	-	44.0	44.5	48.2	-	-	-	42.5	44.2
Fs, %	-	15.1	15.7	11.4	-	-	-	17.1	15.5
Wo, %	-	40.9	39.8	40.4	-	-	-	40.3	40.3
Количество зерен	-	5	12	9	-	-	-	7	12

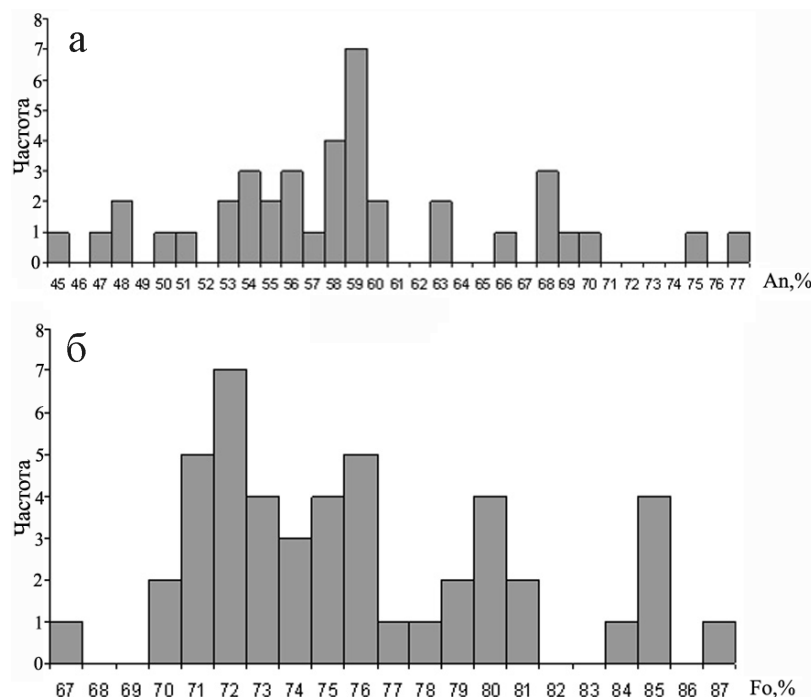


Рис. 1. Гистограмма составов вкрапленников плагиоклаза (а) и оливина (б) из базальтов района тройного сочленения Буве.

на коротких концах граней. Плагиоклаз представлен как в виде отдельных выделений, так и в виде сростков с оливином и пироксеном.

Результаты определения химического состава плагиоклаза в базальтовых стеклах приведены в табл. 1, где даны средние значения по минералам в каждом образце. По результатам анализов было рассчитано содержание анортитовой составляющей, на основании которой была построена гистограмма (рис. 1), из которой видно, что плагиоклаз представлен в основном лабрадором (№ 50–70). В значительно меньшей степени присутствует андезин (№ 30–50) и битовнит (70–90).

ИК спектроскопическое исследование вкрапленников плагиоклазов показало, что в инфракрасных спектрах фенокристаллов (рис. 2) наблюдаются полосы в области $900\text{--}1200\text{ см}^{-1}$ и в области средних частот $500\text{--}700\text{ см}^{-1}$. Полосы в высокочастотной области обусловлены антисимметричными валентными колебаниями связей Si-O-Si(Al) , полосы 645 см^{-1} и 585 см^{-1} соответствуют деформационным колебаниям связей O-Si(Al)-O [3, 5, 10, 17].

Оливин наблюдается в виде характерных округло-призматических кристаллов размером $0.02\text{--}0.07\text{ мм}$, а также образует идиоморфные кристаллы размером от 0.3 до 0.7 мм . Иногда в фенокристаллах оливина встречаются включения хромшпинели размером менее 0.01 мм . Практически во всех образцах

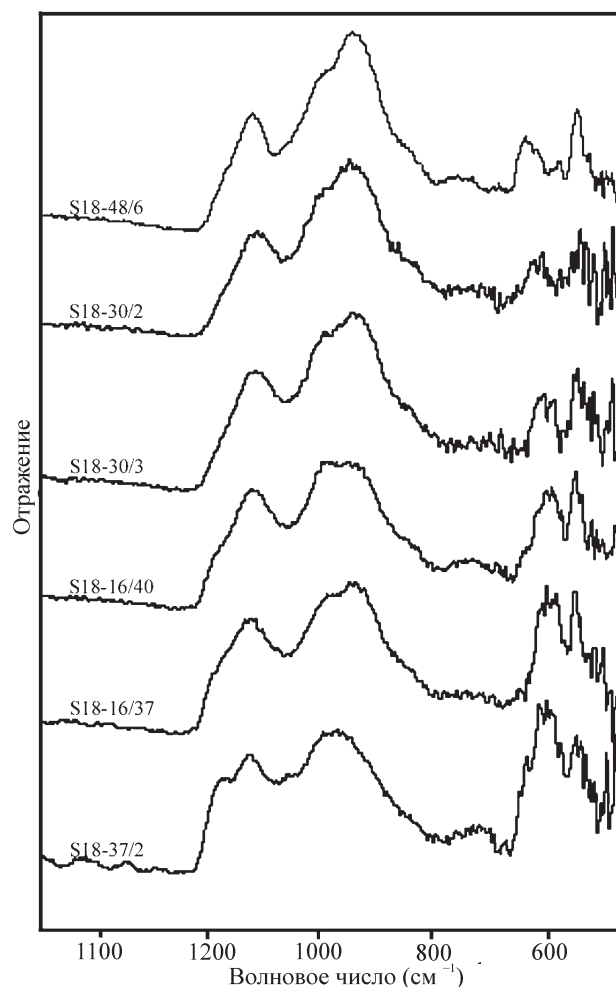


Рис. 2. Характерные ИК спектры отражения кристаллов плагиоклаза в изученных базальтовых стеклах.

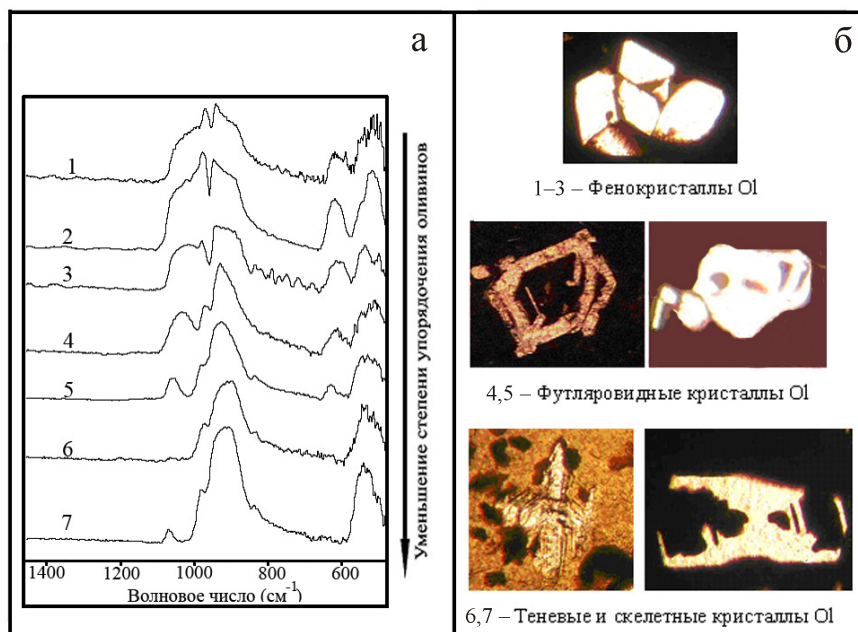


Рис. 3. ИК спектры отражения включений оливина разной степени упорядочения (а) и микрофотографии соответствующих кристаллов (б). Номера спектров соответствуют номерам кристаллов на правом рисунке. Размер кристаллов – в пределах 70–100 мкм.

отмечается большое количество тневых, а так же скелетных и футляровидных кристаллов оливина с включениями стекла.

В табл. 1 приведены составы оливинов в базальтовых стеклах района тройного сочленения Буве. Во всех исследованных оливинах зональности не наблюдается. Содержание форстеритовой компоненты в оливинах изменяется от 87 до 67%, они обладают повышенной магниальностью (рис. 1).

Исследование вкрапленников оливина методом ИК-спектроскопии отражения показало, что для них характерны полосы $\sim 1060, 960$ и 910 см^{-1} . Эти

полосы обусловлены валентными колебаниями связей Si–O в тетраэдрах SiO_4 . Полосы в области $40\text{--}700 \text{ см}^{-1}$ обусловлены деформационными колебаниями O–Si–O связей [5, 10, 14, 15].

ИК спектры оливина, зарегистрированные в исследуемых образцах базальтовых стекол, отличаются друг от друга и это связано с разной степенью структурного совершенства (рис. 3). Из рисунка видно, что инфракрасные спектры отражения оливина можно подразделить на три группы. Первая группа представлена спектрами, в которых все полосы в областях $1050, 950$ и 650 см^{-1} сохранены. Данные спектры характерны для фенокристаллов (рис. 3, спектры 1–3). Для второй группы характерны ИК спектры, в которых наблюдается уменьшение интенсивности полосы отражения в областях 1050 и 650 см^{-1} . Эти спектры зарегистрированы для футляровидных кристаллов оливина (спектры 4, 5). Для третьей группы характерны плохо разрешенные спектры, в которых исчезают полосы в областях 1050 и 650 см^{-1} и они соответствуют скелетным (спектр 6) и тневым (спектр 7) кристаллам оливина.

Пироксен (авгит) наблюдается в виде призматических кристаллов, окрашенных в буровато-сероватые (зеленоватые) тона, слабо плеохроирующих, с отчетливой спайностью. Размер фенокристаллов варьирует в пределах $0.1\text{--}0.2 \text{ мм}$. Встречаются скелетные кристаллы, часто с включениями вулканического стекла. Отмечаются случаи срастания пироксена с плагиоклазом.

Составы порфировых выделений пироксена в базальтовых стеклах сведены в табл. 1. По магне-

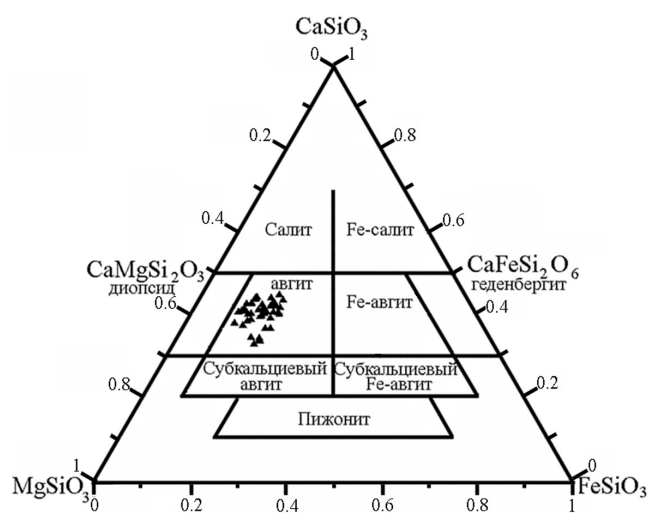


Рис. 4. Составы вкрапленников пироксена в базальтовых стеклах района тройного сочленения Буве.

зиальности пироксены лежат в интервале 55–74%. Так же, как и в оливинах, в пироксенах зональности не наблюдается. Составы пироксенов изображены на тройной диаграмме $\text{MgSiO}_3\text{--CaSiO}_3\text{--FeSiO}_3$ (рис. 4), из которой видно, что все они лежат в поле авгита. Для инфракрасных спектров, зарегистрированных для пироксена, характерны полосы в области 1100 и 950 см^{-1} (рис. 5). Данные полосы обусловлены антисимметричными валентными колебаниями мостиковых связей Si--O--Si . Полосы в области средних частот 500–550 см^{-1} соответствуют валентным колебаниям немостиковых связей Si--O [10, 16].

Формы кристаллов, наблюдаемые в исследуемых стеклах, весьма разнообразны: фенокристаллы, футляровидные, скелетные и тентовые. Они зависят от скорости охлаждения и степени переохлаждения расплава, из которого растет кристалл. При низкой скорости охлаждения образуются кристаллы почти идеальной формы. При быстром и равномерном охлаждении образуются футляровидные кристаллы. При очень быстрой закалке образуются скелетные и тентовые формы кристаллов. Скелетные пироксены и оливины обычно приурочены к краевым частям потоков, где остывание происходило быстро. В изученных шлифах наблюдаются кристаллы всех форм, что свидетельствует о больших температурных градиентах и различиях в скоростях охлаждения при кристаллизации минералов, и в целом существенной неравновесности этого процесса.

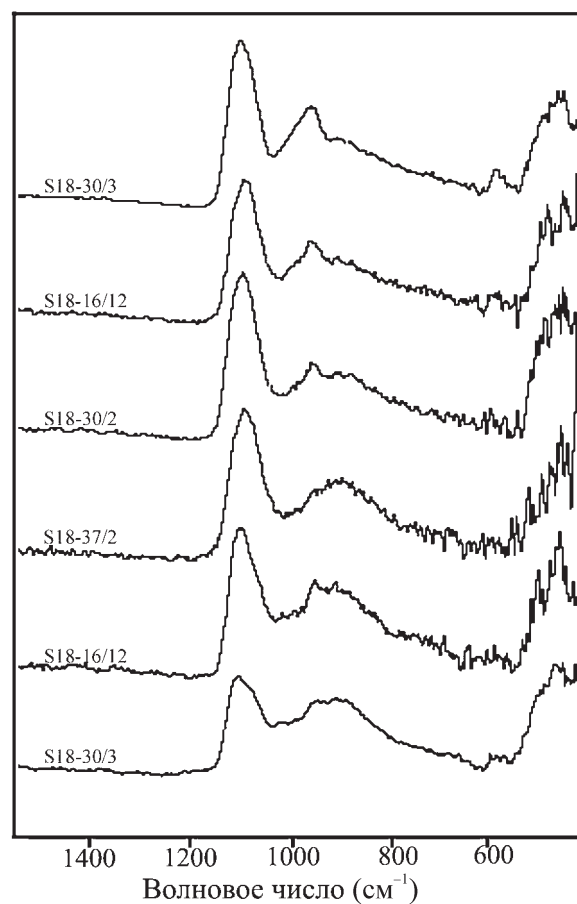


Рис. 5. ИК спектры отражения вкрапленников пироксена в изученных базальтовых стеклах. Цифрами на спектрах обозначены номера образцов.

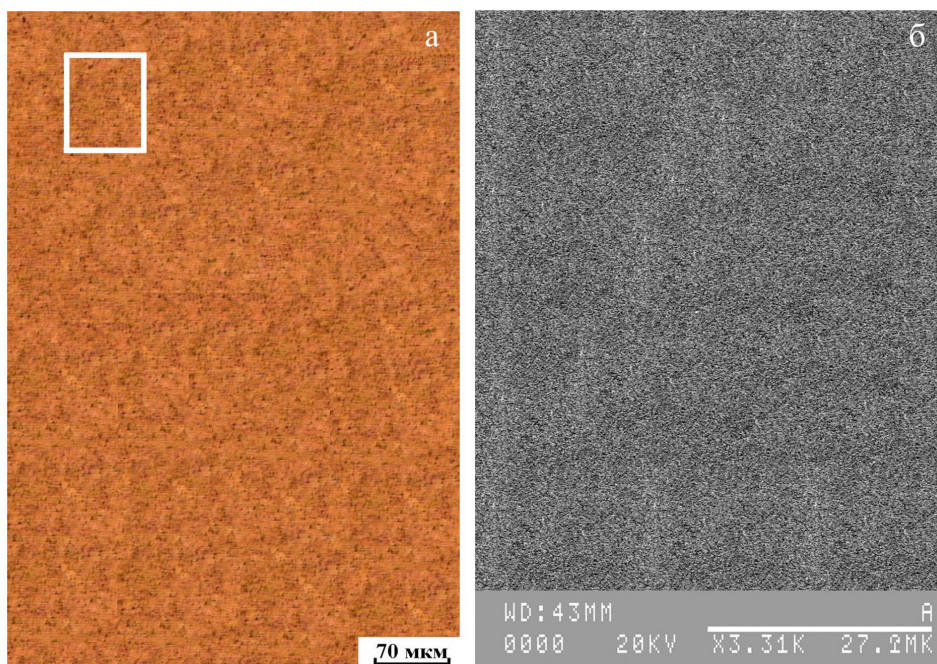
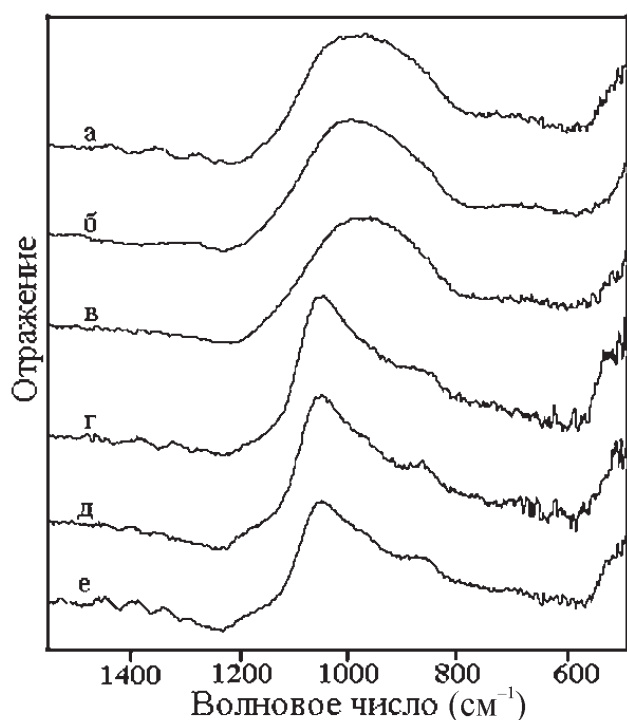


Рис 6. Однородная структура базальтового стекла (обр. S18-48/20) под оптическим (а) и электронным (б) микроскопами. На оптическом изображении николи ||; на электронном – приведен фрагмент оптического, отмеченный рамкой.

Таблица 2. Химический состав однородных базальтовых стекол (мас. %).

№ образцов	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Сумма
S18-10/7	50.35	1.42	16.17	9.36	0.21	7.28	12.55	0.99	0.39	0	98.72
	51.5	1.4	16.51	9.99	0.09	5.45	12.76	0.86	0.2	0	98.76
	49.86	1.36	16.31	9.54	0.17	6.34	12.77	2.3	0.35	0	99
	49.48	1.48	16.06	10.32	0.07	5.94	13.42	1.47	0.4	0	98.64
S18-16/12	50.12	3.22	13.31	12.94	0.59	4.57	9.21	2.6	0.64	1.19	98.39
	49.35	3.37	13.27	13.23	0.23	4.45	9.29	3.5	0.5	1.59	98.78
	49.29	3.13	13.7	12.52	0.08	4.44	9.54	3.43	0.54	1.58	98.25
	50.15	2.54	14.17	12.04	0.08	4.57	9.22	3.04	0.59	2.1	98.5
S18-19/16	49.78	3.13	14.64	12.37	0.15	4.17	8.85	2.08	1.37	1.6	98.14
	51.1	3.21	13.69	12.82	0.18	4.09	9.17	2.25	1.1	1.61	99.22
	50.25	3.45	13.93	11.71	0.16	4.37	8.95	2.63	1.34	1.35	98.14
	49.79	3.44	13.57	12.77	0	4.33	8.66	2.84	1.3	1.65	98.35
S18-48/20	45.71	4.95	8.95	16.84	0.77	7.27	11.38	2.26	1.03	0	99.16
	45.72	4.24	10.34	13.92	0.76	8.77	12.28	2.51	0.72	0	99.26
	45.47	4.73	8.9	14.21	0.15	4.8	17.02	1.41	0.88	1.49	99.06
	47.97	3.49	10.99	11.88	0.23	7.57	14.44	1.62	0.83	0	99.02
S18-48/20	48.28	3.6	11.1	13.96	0.73	5.82	9.46	2.28	1.73	2.29	99.25
	48.59	2.55	10.3	17.56	0.31	6.07	11.33	2.14	0.68	0	99.53
	52.41	2.74	14.83	11.48	0.34	3.89	9.18	2.19	1.46	0	98.52
	52.87	2.94	14.94	13.26	0.62	3.15	8.07	1.55	2.47	0	99.87
S18-48/20	50.63	1.17	14.98	10.08	0.02	6.41	13.11	1.94	0.36	0	98.7
	51.39	0.88	14.71	9.69	0.17	6.97	13.06	1.89	0.21	0	98.97
	49.69	1.46	13.62	10.26	0.42	6.33	14.28	1.87	0.45	0	98.38
	50.12	0.92	14.69	9.92	0.08	7.38	13.05	1.76	0.31	0	98.23
S18-48/20	49.15	2.1	15.54	11.92	0.03	7.28	9.7	3.52	0.66	0	99.9
	50.3	2.17	15.12	12.83	0	6.48	9.85	2.54	0.63	0	99.92
	50.8	1.88	15.07	13	0.03	5.69	10.18	2.55	0.52	0	99.72
	49.67	1.94	14.85	12.05	0.18	6.39	11.26	2.74	0.66	0	99.74
S18-48/20	49.18	1.81	14.87	13.17	0.07	6.62	10.03	3.08	0.64	0	99.47



Стеклообразная матрица океанических базальтов

При исследовании океанических базальтов с применением растрового электронного микроскопа установлено, что оптически однородное базальтовое стекло имеет сложное строение. Выделяются однородные и микронеоднородные стекла. На рис. 6а представлен участок образца S18-48/20, основная масса которого представлена желтовато бурым вулканическим стеклом. Более детальное изучение этого стекла с помощью электронного микроскопа показало, что стекло и при большом увеличении является однородным (рис. 6б). Результаты анализов однородных базальтовых стекол приведены в табл. 2, из которой видно, что концентрации элементов варьируют в небольших пределах. На рис. 7 (а-в) представлены ИК спектры однород-

Рис. 7. ИК спектры отражения участков образца базальтового стекла: а-в – ИК спектры однородного стекла; г-е – ИК спектры стекла с кристаллитами.

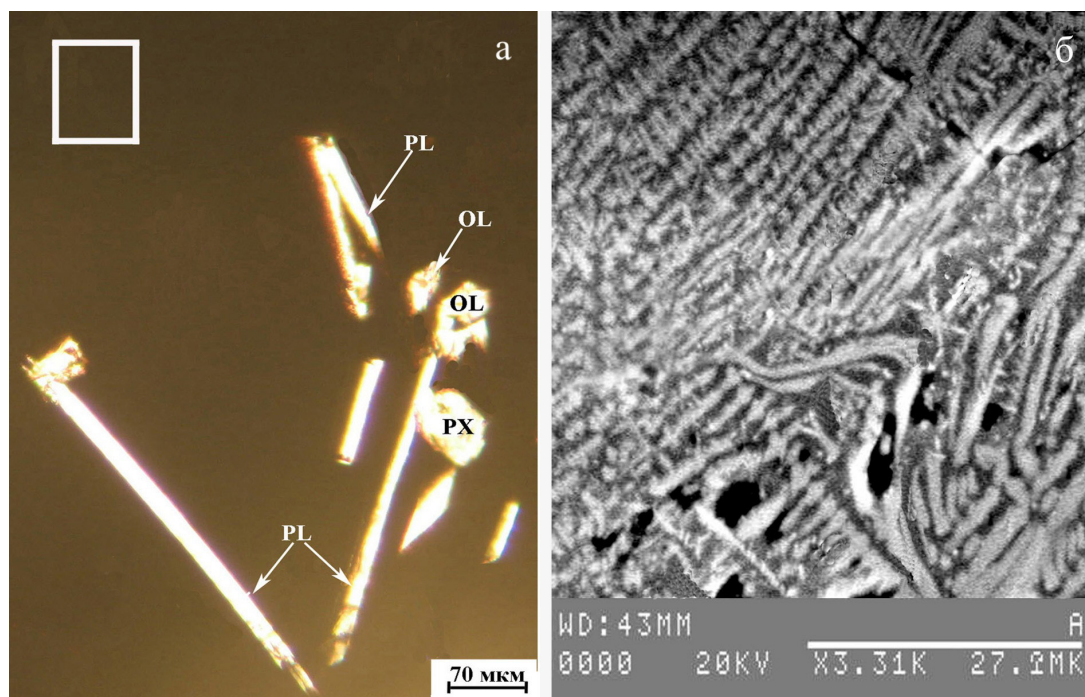


Рис. 8. Оптические (а) и электронные (б) изображения образца S18-16/37. Оптически однородное базальтовое стекло (участок, выделенный прямоугольной рамкой) под электронным микроскопом проявляет микрогетерогенную структуру.

ного стекла, в которых наблюдается широкая полоса в области 1000 см^{-1} , характерная для стекол базальтового состава, в которых отсутствуют какие-либо кристаллические фазы.

Большую часть изученных образцов составляют неоднородные стекла. На рис. 8а показана фо-

тография участка шлифа океанического базальта S18-16/37. В бурой стеклообразной матрице присутствуют фенокристаллы плагиоклаза, пироксена и оливина. Участок стекла в прямоугольной рамке был исследован методом электронной микроскопии (рис. 8б) и хорошо видно, что при большом

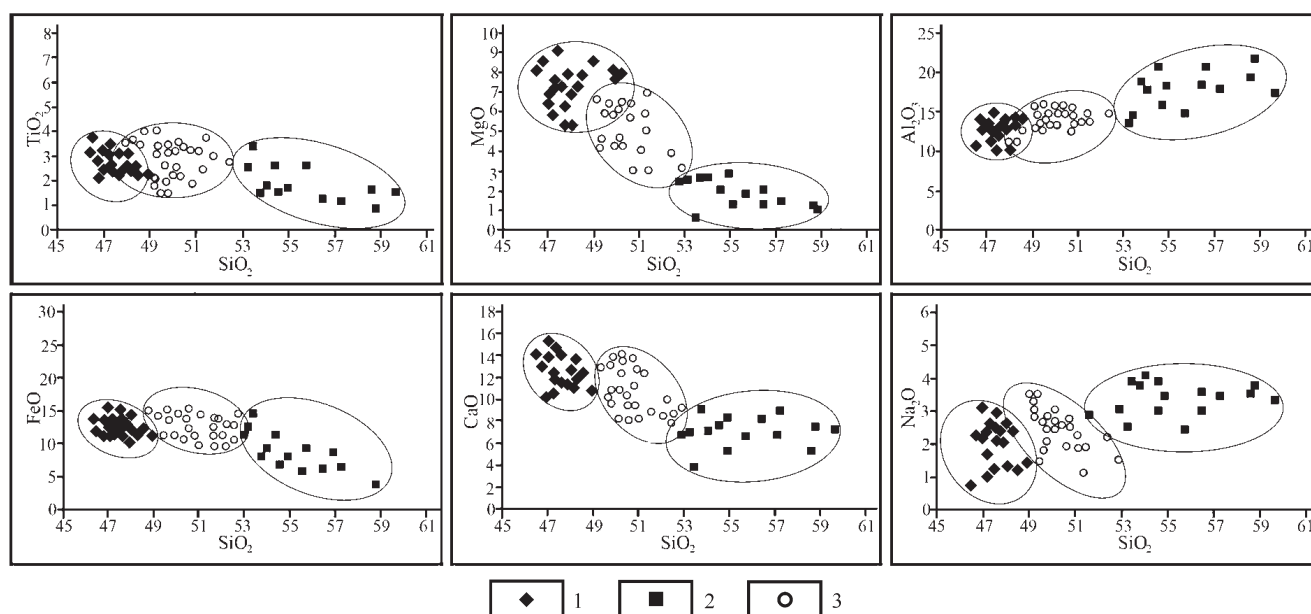


Рис. 9. Поля распределения породообразующих окислов (вес. %) по отношению к SiO_2 для базальтовых стекол района тройного сочленения Буве.

1 – светлые участки неоднородного стекла, 2 – темные участки неоднородного стекла, 3 – однородное стекло.

Таблица 3. Химический состав темных и светлых зон неоднородных базальтовых стекол (мас. %).

№№ образ- цов	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Сумма
Светлые зоны											
S18-16/37	48.06	3.07	10.21	13.97	0.41	5.26	12.66	1.32	1.31	1.99	98.26
	47.28	3.43	11.46	12.91	0.29	7.53	12.49	1.06	0.72	1.32	98.49
	46.5	3.75	10.5	11.73	0.22	8.04	14.12	0.76	0.28	2.56	98.46
S18-30/3	47.46	2.35	11.68	12.07	0.18	9.03	14.57	1.16	0.52	0	99.02
	47.61	2.27	12.77	11.02	0.19	7.23	14.13	2.11	0.46	1.28	99.07
S18-30/2	48.34	2.49	13.59	11.37	0.19	7.23	11.81	2.39	0.55	0	97.96
	47.88	2.45	13.95	12.45	0.36	7.88	11.3	2.05	0.5	0	98.82
	48.98	2.16	14.17	11.06	0.13	8.51	10.74	1.42	0.89	0	98.06
	48.52	2.22	13.85	11.91	0.31	7.84	12.41	1.19	0.85	0	99.1
	50.95	2.34	15.4	12.22	0.1	5.73	9.24	2	0.51	0	98.49
	48.09	2.51	14.01	11.88	0.49	6.87	11.11	2.57	0.68	0	98.21
	47.05	2.36	13.27	11.05	0.21	6.89	15.31	2.22	0.53	0	98.89
	47.34	2.52	14.84	11.36	0.26	7.4	11.91	2.58	0.6	0	98.81
	46.82	2.13	13.89	11.17	0.17	8.59	12.93	2.21	0.4	0	98.31
	Средн.	47.92	2.58	13.11	11.87	0.25	7.43	12.48	1.79	0.63	0.51
Темные зоны											
S18-16/37	55.74	2.66	14.78	9.35	0.26	1.84	6.59	2.44	1.89	2.37	97.92
	53.45	3.4	14.62	14.56	0.05	0.62	3.89	3.91	1.83	1.88	98.21
	51.56	3.39	15.75	13.26	0.19	1.28	4.05	5.58	0.77	2.08	97.91
	50.51	4.71	13.98	13.33	0	2.65	5.75	3.56	1.78	2.01	98.28
	52.91	2.97	14.84	11.44	0.24	2.52	6.89	3.06	1.72	1.44	98.03
S18-30/3	59.66	1.54	17.47	8.47	0.05	0.24	7.26	3.37	0.99	0	99.05
	57.25	1.16	17.7	6.43	0.26	1.5	9.03	3.48	0.96	1.17	98.94
	56.47	1.26	18.51	5.94	0.14	1.33	8.23	3.59	0.93	1.56	97.96
	54.05	1.8	17.65	9.05	0.25	2.68	7.06	4.11	1.01	0	97.66
	54.91	1.73	18.23	8.14	0.14	2.91	8.41	3.48	0.89	0	98.84
S18-30/2	54.57	1.52	20.83	6.82	0.03	2.05	7.68	3.93	0.83	0	98.26
	58.58	1.63	19.38	7.31	0.06	1.21	5.4	3.57	1.73	0	98.87
	53.79	1.5	18.94	8.13	0.05	2.7	9.1	3.77	0.78	0	98.76
Средн.	54.88	2.25	17.13	9.40	0.13	1.81	6.87	3.68	1.24	0.96	98.36

увеличении стеклообразная матрица является микронеоднородной. Исследования участков этой матрицы методом ИК-спектроскопии отражения показали, что спектры отличаются от ИК спектров неизмененного стекла: на фоне широкой полосы наблюдаются более узкие полосы с максимумами 1080 и 850 см⁻¹ (рис. 7, спектры г–е). Данные инфракрасные спектры представляют собой суперпозицию спектров однородного стекла базальтового состава и спектров кристаллических фаз низкой степени структурного совершенства. Из рис. 8б видно, что в микронеоднородной матрице стекла наблюдаются светлые и темные зоны. Результаты анализов этих зон в разных точках в этом и других образцах базальтовых стекол приведены в табл. 3. Данные анализов показывают, что в светлых участках стекловатой матрицы по сравнению с темными наблюдается значительное увеличение

содержания Mg, Ca и Fe при уменьшении концентраций Si, Al и Na.

На основании анализа состава светлых и темных участков стекла, были построены диаграммы распределения порообразующих окислов (мас. %) по отношению к SiO₂ (рис. 9) и MgO (рис. 10). Известно, что MgO характеризует степень дифференциации базальтовых расплавов [13]. На диаграммах отчетливо прослеживаются две области распределения порообразующих окислов в светлых и темных участках стеклообразной матрицы в изученных образцах океанических базальтов. Состав однородного стекла является промежуточным между составом светлых и темных участков неоднородного стекла. Мы предполагаем, что светлые и темные участки стекла – это результат дифференциации базальтовых расплавов до начала массовой кристаллизации минералов.

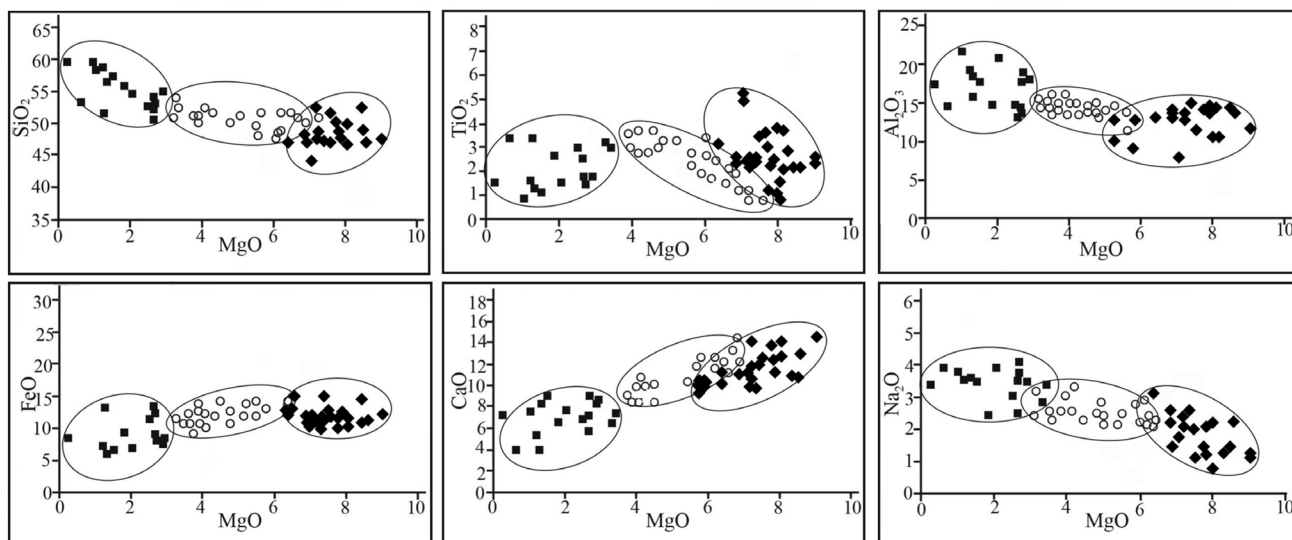


Рис. 10. Поля распределения породообразующих окислов (вес. %) по отношению к MgO для базальтовых стекол района тройного сочленения Буве. Условные обозначения см. рис. 9.

Это представление согласуется с результатами наших экспериментальных работ [1], в которых показано, что алюмосиликатные расплавы имеют микронеоднородную структуру. Первая составляющая этих расплавов представлена высокополимеризованными алюмосиликатными группировками и соответственно имеет повышенные концентрации Si, Al и щелочных катионов, которые являются компенсаторами заряда Al^{3+} в алюмосиликатных тетраэдрах, тогда как вторая – состоит из относительно деполимеризованных силикатных анионных группировок и характеризуется повышенным содержанием оксидов щелочноземельных металлов.

ВЫВОДЫ

Исследование природных океанических базальтовых стекол методом растровой электронной микроскопии и ИК Фурье микроспектрометрии показали, что они обладают сложным неоднородным строением, связанным с существованием различных кристаллических фаз разной степени структурного совершенства, вариолей, а также микрогетерогенного расслоенного стекла. Установлено, что базальтовые расплавы срединно-океанических хребтов (N-MORB и E-MORB) являются однородными и при закалке образуются гомогенные стекла, в отличие от обогащенных (типа OIB) магматических систем вблизи о-ва Буве, для которых установлены как однородные, так и микронеоднородные стекла. Неоднородность стекол и наличие различных по составу участков стеклообразной матрицы, свидетельствуют о дифференциации обогащенных базальтовых расплавов района Буве еще до начала массовой кристаллизации минералов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 07-05-96031, 07-05-96046), РНП 2.1.1/5741. Программы интеграционных исследований УрО-СО РАН и гранта молодых ученых УрО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анфилов В.Н., Быков В.Н., Осипов А.А. Силикатные расплавы. М: Наука, 2005. 357 с.
2. Аппен А.А. Химия стекла. Л.: Химия, 1974. 352 с.
3. Батанова А.М., Плюснина И.И., Фельдман В.И., Иванова О.А. Оптические и рентгеновские исследования синтетических плагиоклазов // Вестник МГУ. Сер. геол. 1973. № 6. С. 36–37.
4. Пейве А.А., Зителлини Н., Перфильев А.С. и др. Строение Срединно-Атлантического хребта в районе тройного сочленения Буве // Докл. АН. 1994. Т. 338. № 5. С. 645–648.
5. Плюснина И.И. Инфракрасные спектры минералов. Изд-во МГУ. 1977. 175 с.
6. Природные стекла – индикаторы геологических процессов. М: Наука, 1987. 247 с.
7. Пуцаровский Ю.М., Симонов В.А., Пейве А.А. и др. Взаимосвязь геохимических особенностей базальтов с геодинамическими обстановками в районе тройного сочленения Буве (Южная Атлантика) // Докл. АН. 1998. Т. 361. № 2. С. 225–228.
8. Симонов В.А., Колобов В.Ю. Особенности магматических и гидротермальных систем в районе тройного сочленения срединно-океанических хребтов в Южной Атлантике // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 5. С. 48–54.
9. Симонов В.А., Колобов В.Ю., Ковязин С.В. Магматические и гидротермальные процессы в различных геодинамических ситуациях Южной Атлантики (тройное сочленение Буве) // Тектонические и геодинамические феномены. М.: Наука, 1997. С. 129–147.

10. Симонов В.А., Пейве А.А., Колобов В.Ю., Тикунов Ю.В. Геохимия и геодинамика базитов в районе тройного сочленения Буве // Петрология. 2000. Т. 8. № 1. С. 43–58.
11. Фрих-Хар Д.И. Кристаллизация магматического стекла и некоторые вопросы петрогенезиса. М: Наука. 1977. 119 с.
12. Farmer V.C. The infrared spectra of minerals / Ed. Mineralogical Society: London, 1974. 539 p.
13. Christie D.M., Carmichael I.S.E., Langmuir C.H. Oxidation states of mid-ocean ridge basalt glasses // Earth Planet. Sci. Lett. 1986. V. 79. P. 397–411.
14. Handke M., Kosinski K., Tarte P. Vibrational spectra and force constant calculations of the isotopic species of MgCaSiO_4 // J. Molec. Struct. 1984. V. 115. P. 401–404.
15. Hofmeister A.M. Infrared reflectance spectra of fayalite, and absorption data from assorted olivines, including pressure and isotope effects // Phys. Chem. Minerals. 1997. V. 24. P. 535–546.
16. Rudakova S.E., Demyanova L.P., Borukhin B.Ya., Bogoyavlenskaya M.L. An evaluation of the acid resistance silicates from the IR-reflection spectra // All-Union Scientific-Research Institute of Ceramics. 1983. № 11. P. 11–12.
17. Zhou Lingdi, Guo Jiugao, Yang Ninhua, Li Liyun. Solid-state nuclear magnetic resonance and infrared spectroscopy of feldspars // Science in China. 1997. V. 40. № 2. P. 159–165.

Рецензент А.А.Ефимов

Heterogeneous structure of oceanic basaltic glasses according to electronic microscopy and IR Fourier microspectrometry

M. A. Krylova*, S. M. Lebedeva*, V. N. Bykov*, V. A. Simonov**

*Institute of Mineralogy, Urals Branch of RAS

**Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of RAS

The composition, structure and spectroscopic features of oceanic basaltic glasses in the Bouvet Triple Junction Region (South Atlantic) were investigated. It is shown that glasses have complex structure due to existence of crystal phases of different order degree, varioles and various areas of heterogeneity glass. The research of oceanic basalt glasses by IR Fourier microspectrometry was carried out for the first time. IR spectra of reflection of varioles and phenocrysts in a glass matrix were obtained. The composition and structure of areas of heterogeneity, varioles and mineral phases in basaltic glasses were studied by scanning electronic microscopy and IR Fourier microspectrometry.

Key words: *basaltic glasses, structure, composition, spectroscopy.*