

# ПРИМЕНЕНИЕ ИК ФУРЬЕ МИКРОСПЕКТРОМЕТРИИ К ИССЛЕДОВАНИЮ СТРУКТУРЫ ОКЕАНИЧЕСКИХ БАЗАЛЬТОВЫХ СТЕКОЛ

С. М. Лебедева<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> – Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, lebedeva@mineralogy.ru

<sup>2</sup> – Южно-Уральский Государственный Университет, г. Миасс

Базальтовые стекла неоднократно были изучены методом ИК спектроскопии [Dixon et al., 1994; Stolper, 1982; Newman et al., 1986]. Однако эти исследования были выполнены с использованием традиционного варианта этого метода, т.е. регистрировали инфракрасные спектры поглощения порошкообразных проб. С учетом того, что базальтовые стекла являются существенно неоднородными объектами, такие исследования не отражали всех структурных особенностей этих стекол. ИК спектры пропускания базальтовых стекол, полученные по традиционной методике изображены на рис. 1. ИК спектры пропускания исследованных базальтов состоят из типичных для силикатных стекол полос поглощения. Эти спектры являются сложной суперпозицией спектров стеклообразной матрицы, областей неоднородностей, кристаллических фаз, существующих в стекле и получить информацию о тонком строении базальтовых стекол из ИК спектров поглощения порошкообразных проб невозможно. В настоящей работе структура природных стекол базальтового состава исследована с использованием локальной ИК Фурье микроспектрометрии.

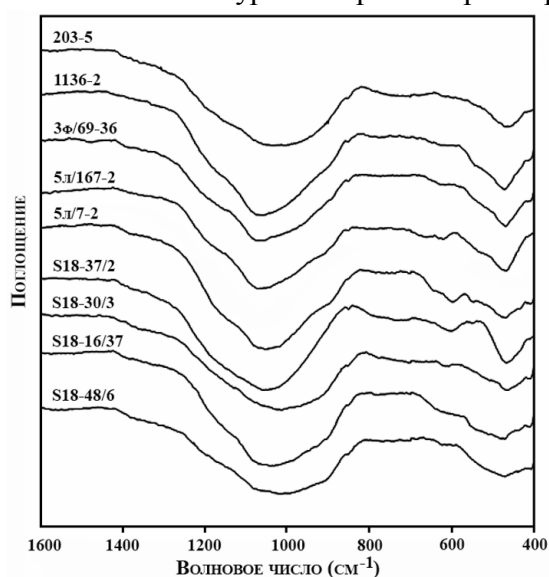


Рис. 1. ИК спектры пропускания исследованных природных стекол базальтового состава.

наблюдается уменьшение интенсивности полосы отражения в областях 1050 и 650 см<sup>-1</sup>. Эти спектры зарегистрированы с фугляровидных кристаллов оливина (спектры 4, 5). Для третьей группы характерны плохо разрешенные спектры, в которых исчезают полосы в областях 1050 и 650 см<sup>-1</sup> и они соответствуют тeneвым и скелетным (спектры 6, 7) кристаллам оливина.

Для ИК спектров плагиоклазов в базальтовых стеклах характерны полосы в области 900–1200 см<sup>-1</sup> и в области 500–700 см<sup>-1</sup>. Полосы в высокочастотной области обусловлены антисимметричными валентными колебаниями связей Si–O–Si(Al), полосы – 645 см<sup>-1</sup> и 585 см<sup>-1</sup> соответствуют деформационным колебаниям связей O–Si(Al)–O [Farmer, 1974; Zhou et al., 1997].

Исследование вкрапленников оливина методом ИК спектроскопии отражения показало, что для них характерны полосы ~ 1060, 960 и 910 см<sup>-1</sup> (рис. 2). Эти полосы обусловлены валентными колебаниями связей Si–O в тетраэдрах SiO<sub>4</sub>. Полосы в области 400–700 см<sup>-1</sup> обусловлены деформационными колебаниями O–Si–O связей [Farmer, 1974; Hofmeister, 1997; Handke et al., 1984].

ИК спектроскопические исследования включений оливина в природных базальтовых стеклах показало, 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<sup>-1</sup> сохранены. Данные спектры характерны для фенокристаллов (рис. 2, спектры 1–3). Для второй группы характерны ИК спектры, в которых

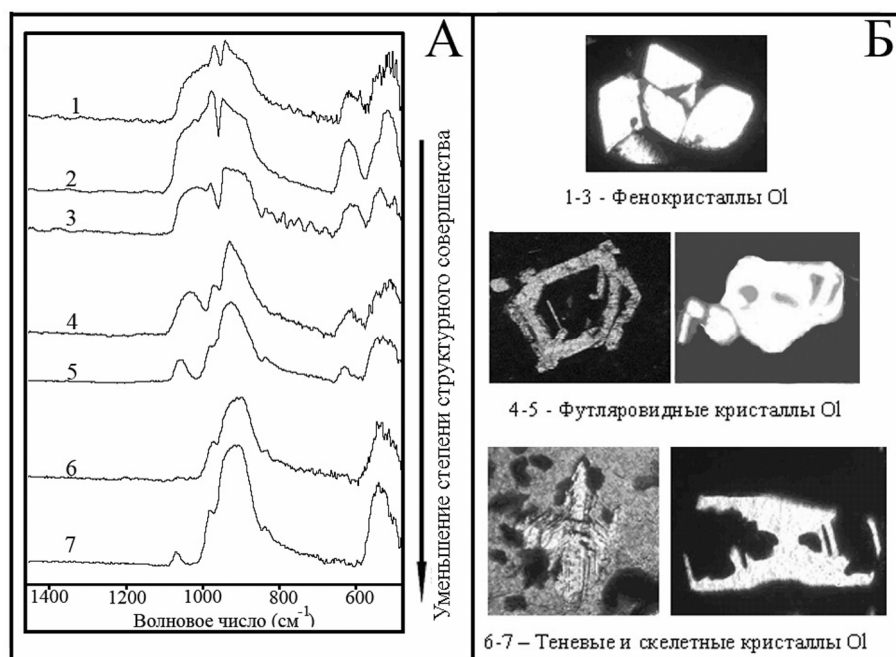


Рис. 2. ИК спектры отражения оливинов разной степени структурного совершенства.

Для инфракрасных спектров пироксена характерны полосы в области  $1100$  и  $950\text{ см}^{-1}$ . Данные полосы обусловлены антисимметричными валентными колебаниями мостиковых связей Si–O–Si. Полосы в области средних частот  $500\text{--}550\text{ см}^{-1}$  соответствуют валентным колебаниям немостиковых связей Si–O [Farmer, 1974; Rydakova et al., 1983]. Анализ ИК спектров отражения плагиоклазов и пироксенов, наблюдаемых в изученных базальтовых стеклах, показал, что существенного изменения в полосах отражения инфракрасных спектров в зависимости от формы кристалла не наблюдается.

Методом ИК Фурье микроспектрометрии отражения были изучены участки гомогенных и микрогетерогенных стекол. Спектры гомогенных неизмененных стекол характеризуются широкой полосой в области  $1000\text{ см}^{-1}$ , характерной для стекол базальтового состава, в которых отсутствуют какие-либо кристаллические фазы (рис. 3, спектр 1).

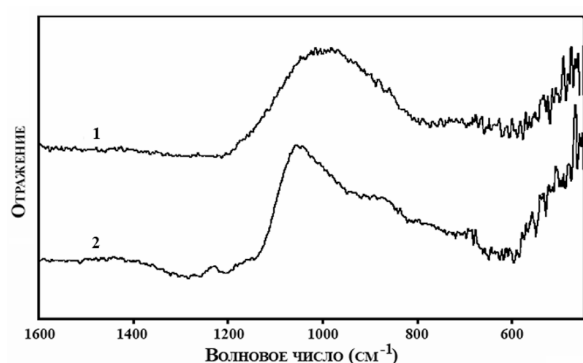


Рис. 3. ИК спектры отражения участков образца базальтового стекла. 1 – неизмененное стекло; 2 – измененное стекло.

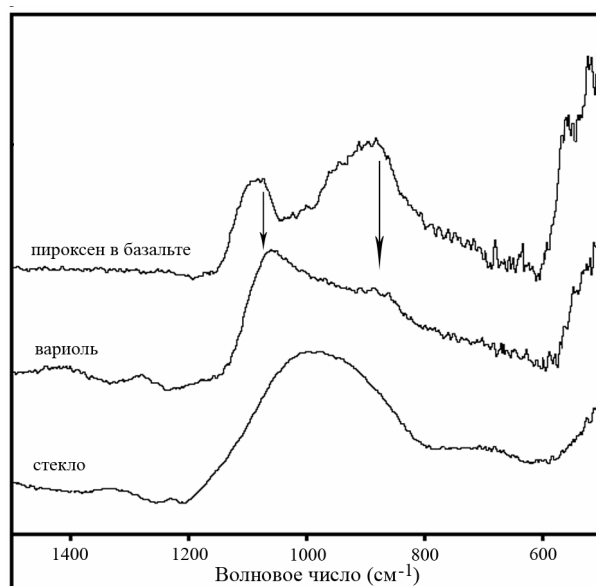


Рис. 4. ИК спектры пироксенов и «пироксеновой» вариоли.

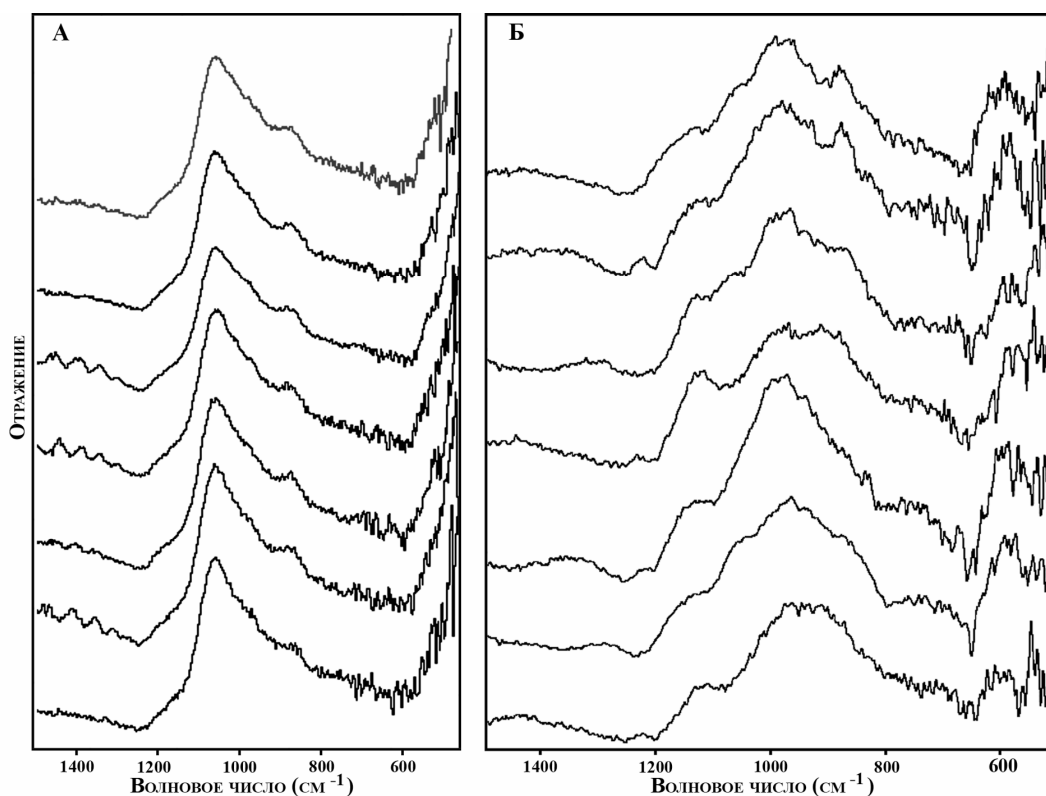


Рис. 5. ИК спектры «пироксеновых» (А) и «плагинкловых» (Б) вариолей в природных базальтовых стеклах. Спектры получены на различных образцах океанических базальтов.

Следует отметить, что эти спектры в целом подобны ИК спектрам пропускания базальтовых стекол, полученных на порошкообразных пробах (максимумам в спектрах отражения соответствуют минимумы в спектрах пропускания).

Исследования участков микрогетерогенного стекла методом ИК спектроскопии отражения показали, что их спектры отличаются от ИК спектров гомогенного неизмененного стекла: на фоне широкой полосы наблюдается полоса  $1080\text{ см}^{-1}$  и плечо  $900\text{ см}^{-1}$  (рис. 3, спектр 2). На рис. 4 показаны спектр хорошо сформированного кристалла пироксена, присутствующего в исследуемом образце, чистого неизмененного стекла и спектр вариолитовой матрицы стекла. Сопоставление спектров показало, что спектр матрицы является суперпозицией спектров неизмененного стекла и кристаллитов пироксена.

Методом ИК Фурье микроспектрометрии отражения выделены два типа вариолей (рис. 5), которые могут существовать либо отдельно в стекловатой матрице, либо срастаться вместе, в предельном случае образуя вариолитовую матрицу базальта. Спектры вариолей первого типа представляют собой суперпозицию спектров чистого стекла и кристаллитов пироксена, для которых характерны полосы  $1050$ ,  $900$  и  $550\text{ см}^{-1}$  (рис. 5,А). Вариолы второго типа, найденные в базальтах, характеризуются полосами  $1150$ ,  $1000$ ,  $870$  и  $600\text{ см}^{-1}$ , которые связаны с присутствием кристаллитов плагинклова (рис. 5,Б).

Для детального анализа инфракрасных спектров отражения вариолей они были разложены на отдельные линии гауссовской формы с помощью программы для обработки спектроскопических данных РЕАКФИТ (рис. 6). Было показано, что спектры «плагинкловых» вариолей могут быть представлены как суперпозиция пяти линий, а спектры «пироксеновых» вариолей – как суперпозиция четырех линий. В «пироксеновой» вариоли для пироксена характеристической является относительно узкая полоса, которая имеет максимум в области  $1060\text{--}1090\text{ см}^{-1}$ . Для плагинклова в «плагинкловой» вариоли характеристической является полоса в области  $860\text{--}890\text{ см}^{-1}$ . Стекло в обеих

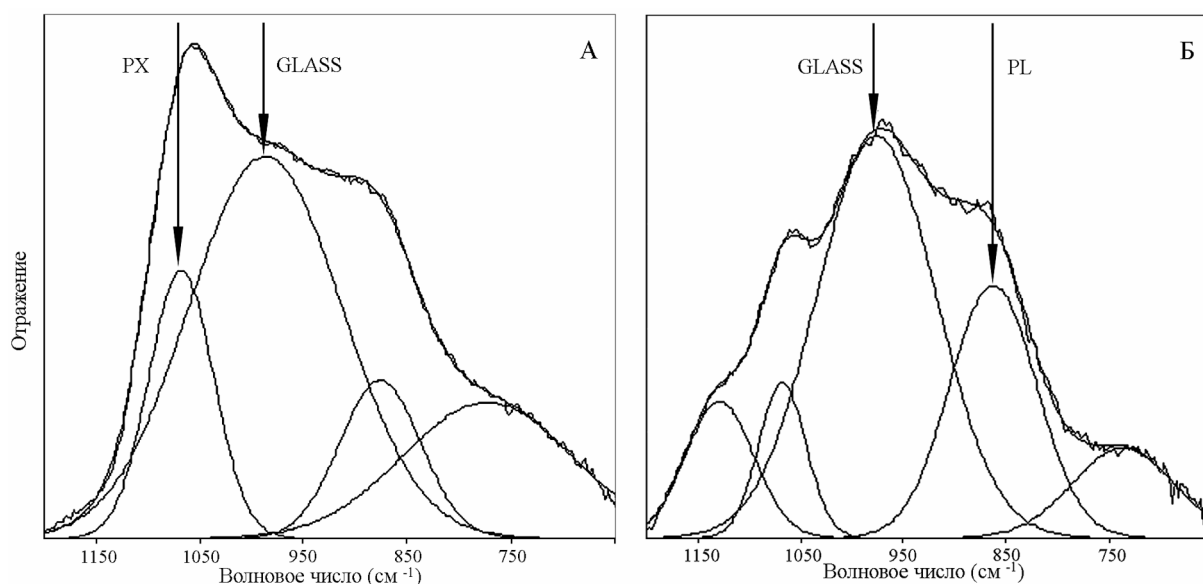


Рис. 6. Моделирование инфракрасных спектров вариолей суперпозицией гауссовских линий: А – «пироксеновая» вариоль, Б – «плагиоклазовая» вариоль.

вариолях характеризуется полосой около  $970\text{--}1010\text{ см}^{-1}$ . Анализ соотношения интегральных интенсивностей характеристических полос «кристаллических» фаз и стекла в вариолях позволил предположить, что стекло является основной фазой как в «плагиоклазовых», так и в «пироксеновых» вариолях.

### Выводы

Впервые методом инфракрасной Фурье микроспектрометрии проведено исследование базальтовых стекол и определены особенности ИК спектров отражения кристаллических и некристаллических фаз, существующих в океанических базальтах.

Установлено, что ИК спектры отражения гомогенного неизмененного стекла в базальтовых стеклах подобны и характерны для алюмосиликатных стекол.

Установлено существование двух типов вариолей, которые связаны с присутствием кристаллитов пироксена и плагиоклаза в стеклообразной матрице.

ИК спектры отражения этих вариолей представляют собой суперпозицию спектров гомогенного неизмененного стекла и соответствующих кристаллических фаз низкой степени структурного совершенства.

Показано, что инфракрасные спектры микрогетерогенного стекла в океанических базальтах соответствуют ИК спектрам «пироксеновых» и значительно реже «плагиоклазовых» вариолей.

Установлено, что ИК спектры отражения оливинов (фенокристаллов, футляровидных и скелетных кристаллов) в базальтовых стеклах отличаются друг от друга по количеству и интенсивности полос, что связано с разной степенью их структурного совершенства.

Показана применимость метода ИК Фурье микроспектрометрии в изучении таких сложных неоднородных объектов, какими являются океанические базальтовые стекла.

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта № 2.1.1/10727 аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» и в соответствии с Государственным контрактом на выполнение поисковых*

### Литература

*Dixon J. E., Stolper M. E., Holloway J. R.* An experimental study of water and carbon dioxide solubilities in mid-ocean ridge basaltic liquids // *J. Petrol.* 1994. V. 35. P. 1–87.

*Farmer V. C., ed.* The Infrared Spectra of Minerals. Monograph. № 4, Mineralogical Society (London). 1974. P. 539.

*Handke M., Kosinski K., Tarte P.* Vibrational spectra and force constant calculations of the isotopic species of MgCaSiO<sub>4</sub> // *J Molec. Struct.* 1984. V. 115. P. 401–404.

*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.

*Newman S., Stolper E. M., Epstein S.* Measurement of water in rhyolitic glass: Calibration of an infrared spectroscopic technique // *Am. Miner.* 1986. V. 71. № 11–12. P. 1527–1541.

*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.

*Stolper E. W.* Water in Silicate Glasses: An Infrared Spectroscopic Study // *Contribution Mineralogy and Petrology.* 1982. V. 81. № 1. P. 1–17.

*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.