

# ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНУЛИРОВАННОГО КВАРЦА ЮЖНОГО УРАЛА МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ ФУРЬЕ-СПЕКТРОСКОПИИ ПРИ НИЗКИХ И ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

*М. В. Штенберг, В. Н. Быков*

*Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, shtenberg@mineralogy.ru*

Гранулированный кварц в результате метаморфических процессов очищается от минеральных и других примесей, что делает его важнейшим сырьем для производства высококачественного кварцевого стекла [Емлин и др., 1988; Мельников, 1988]. Требования к качеству кварцевого стекла со стороны высокотехнологических отраслей промышленности постоянно возрастают. В настоящее время требуется не только химически чистое кварцевое стекло, но и стекло не содержащее таких дефектов, как газонаполненные пузыри, которые резко ухудшают свойства систем и устройств для волоконной оптики и микроэлектроники.

Известно [Леко и др., 1985], что существование пузырей в кварцевом стекле во многом определяется присутствием в исходном кварце летучих компонентов и, прежде всего воды, которая находится в этом номинально безводном минерале в следовых количествах в виде различных водородсодержащих группировок.

Инфракрасная спектроскопия является наиболее эффективным и информативным методом для изучения состояния и структурного положения водородсодержащих группировок в кварце. В работах [Kats, 1962; Aines et al., 1984; Kronenberg, 1994] показано, что ИК спектр кварца в области фундаментальных валентных колебаний воды ( $3000\text{--}3800\text{ см}^{-1}$ ) представляет собой широкую диффузную полосу, на которую накладываются узкие полосы, так называемых Н-дефектов.

Объектом исследования в данной работе выступал гранулированный кварц ряда месторождений Южного Урала (Кыштымское, Кузнечихинское, Аргазинское, Вязовское). Из образцов кварца были подготовлены пластинки толщиной  $\sim 1$  мм. Отжиг пластинок был произведен до температуры  $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$  с шагом  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , время выдержки 2 часа. Инфракрасные спектры были получены на Фурье-спектрометре Nexus-870 Thermo Nicolet. Низкотемпературные (до  $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ИК спектры кварца регистрировались с использованием температурной ячейки Spexac. Для всех зарегистрированных спектров была выполнена процедура коррекции базовой линии, и полученные спектры пропускания были пересчитаны в спектры поглощения (оптическую плотность) с нормировкой на толщину образца. Обработка спектров была выполнена с помощью программного пакета OMNIC Thermo Nicolet.

Для разложения ИК спектра в области  $3000\text{--}3800\text{ см}^{-1}$  на суперпозицию отдельных линий была использована программа Peakfit. ИК спектр всех образцов кварца был представлен в виде 7 линий гауссовской формы (рис. 1). Интерпретация полос в «водной» области ( $3000\text{--}3800\text{ см}^{-1}$ ) детально рассмотрена в работах [Kats, 1962; Aines et al., 1984; Kronenberg, 1994; Ito et al., 2002]. Линии с максимумами в области  $3200\text{ см}^{-1}$  и  $3300\text{ см}^{-1}$  относятся к обертонам и составным частотам колебания связи Si-O в решетке кварца. Полоса  $3320\text{ см}^{-1}$  приписана симметричным ( $\nu_1$ ) валентным колебаниям связи O-H в молекулах воды. Полоса  $3420\text{ см}^{-1}$  относится к антисимметричным ( $\nu_3$ ) валентным колебаниям связи O-H в молекулах воды. Узкая полоса с максимумом  $3378\text{ см}^{-1}$  связана с колебаниями группировок Al-OH в тетраэдрах  $\text{SiO}_4$ , в которых центральный атом кремния замещен атомом алюминия. Полосы  $3600\text{ см}^{-1}$  и  $3740\text{ см}^{-1}$  приписаны колебаниям OH группировок в составе тонкодисперсных минеральных включений.

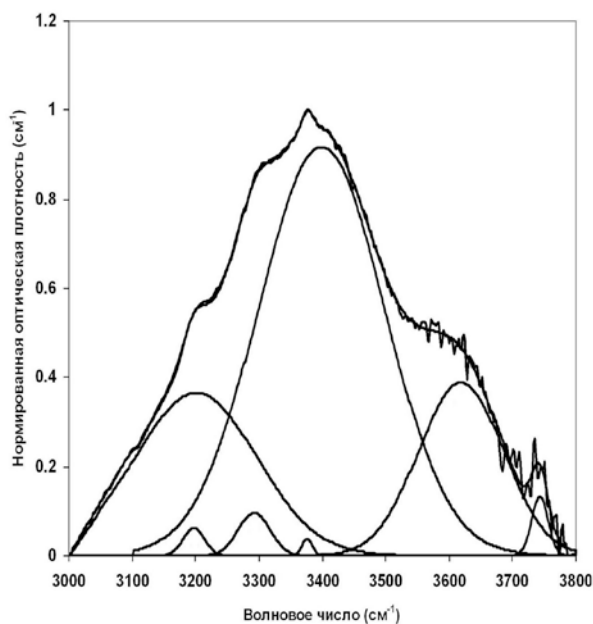


Рис. 1. Моделирование инфракрасного спектра поглощения кварца суперпозицией гауссовских линий.

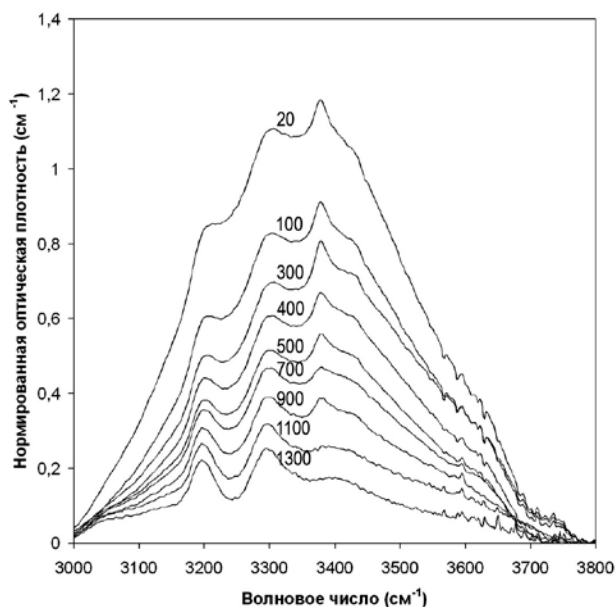


Рис. 2. Нормированные ИК спектры кварца после отжига. Цифрами указана температура отжига, °С.

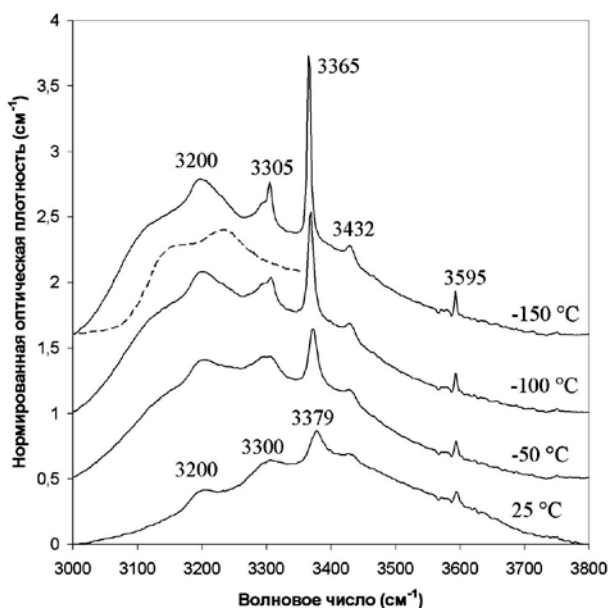


Рис. 3. Нормированные ИК спектры кварца при охлаждении. Пунктирной линией показан ИК спектр льда [Aines et al., 1984]. Цифрами указано положение линий и температура.

при охлаждении кварца смещается в сторону низких частот и при  $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$  ее положение  $3365\text{ см}^{-1}$ . Широкая полоса  $3400\text{ см}^{-1}$  при охлаждении смещается к  $3220\text{ см}^{-1}$ , что связано с замерзанием молекулярной воды и образованием кристаллической фазы – льда.

Характер изменения спектров кварца (рис. 2) в области  $3000\text{--}3800\text{ см}^{-1}$  после отжига свидетельствует о том, что с увеличением температуры происходит постепенное уменьшение интенсивности широкой полосы  $3400\text{ см}^{-1}$ . На фоне этого уменьшения с ростом температуры отчетливо начинают проявляться полосы  $3200$  и  $3300\text{ см}^{-1}$ . Кроме того, видно, что полоса  $3378\text{ см}^{-1}$  практически исчезает при температуре  $900\text{--}1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что указывает на то, что группировки Al-OH разрушаются именно при этой температуре.

На рисунке 3 приведены спектры кварца при низких температурах. Видно, что при понижении температуры отчетливо начинают проявляться ряд полос ( $3305$  и  $3432\text{ см}^{-1}$ ) относимых к точечным дефектам  $\text{Al}^{3+}$ : Al-OH и другие [Kats, 1962; Aines et al., 1984; Kronenberg, 1994]. Полоса  $3378\text{ см}^{-1}$  при

### Литература

Емлин Э. Ф., Синкевич Г. А., Якишин В. И. Жильный кварц Урала в науке и технике. Свердловск: Сред.-Урал. кн. изд-во, 1988. 272 с.

- Леко В. К., Мазурин О. В.* Свойства кварцевого стекла. Л.: Наука, 1985. 166 с.
- Мельников Е. П.* Геология, генезис и промышленные типы месторождений кварца. М.: Недра, 1988. 216 с.
- Aines R. D., Rossman G. R.* Water in minerals? A peak in the infrared // *Journal of Geophysical Research*, 1984. V. 89. № B6. P. 4059–4071.
- Grant K., Gleeson S. A., Roberts S.* The high-temperature behavior of defect hydrogen species in quartz: Implications for hydrogen isotope studies // *American Mineralogist*, 2003. V. 88. P. 262–270.
- Ito Y., Nakashima S.* Water distribution in low-grade siliceous metamorphic rocks by micro-FTIR and its relation to grain size: a case from the Kanto Mountain region, Japan // *Chemical Geology*, 2002. V. 189. P. 1–18.
- Kats A.* Hydrogen in Alpha-quartz // *Philips Research Reports*, 1962. V. 17. P. 201–279.
- Kronenberg A. K.* Hydrogen speciation and chemical weakening of quartz // *Reviews in Mineralogy*, American Mineralogical Society, 1994. V. 29. P. 123–176.