

# **НАНОКРИСТАЛЛЫ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ И ИХ РОЛЬ В ЗЕМНЫХ ТОЛЧКАХ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ**

**Г.А. Соболев, доктор физико-математических наук,  
член-корреспондент Российской академии наук;**

**А.В. Пономарев, доктор физико-математических наук.**

**Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук.**

**В.И. Веттегрень, доктор физико-математических наук, профессор;**

**И.П. Щербаков, кандидат физико-математических наук;**

**Р.И. Мамалимов, кандидат физико-математических наук;**

**В.Б. Кулик, кандидат физико-математических наук.**

**Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук**

Излагаются результаты, проведенных авторами, систематических исследований нанокристаллов, образовавшихся в поверхностных слоях толщиной от 30 нм до нескольких мкм различных горных пород из зон землетрясений и разломов земной коры. Оценены размеры нанокристаллов и внутренние напряжения в них. Полученные результаты показали, что образование нанокристаллов в поверхностных слоях земных плит может быть связано с неустойчивостью их скольжения относительно друг друга (то есть с толчками и землетрясениями). Смоделирован процесс неустойчивого скольжения образцов одной из горных пород (песчаника) в условиях лаборатории. Приведены результаты исследования нанокристаллов в поверхностном слое этой породы толщиной ~ 30 нм до и после скольжения.

*Ключевые слова:* нанокристаллы в горных породах, горные толчки, землетрясения

## **NANOCRYSTALS IN ROCKS AND THEIR ROLE IN THE EARTH TREMORS AND EARTHQUAKES**

G.A. Sobolev; A.V. Ponomarev.

Institute of physics of the earth named after Schmidt of the Russian academy of sciences.

V.I. Vettegren; I.P. Scherbakov; R.I. Mamalimov; V.B. Kulik.

Physical-technical institute of Ioffe of the Russian academy of sciences

The results of conducted by the systematic study of nanocrystals formed in the surface layers of thickness from 30 nm to several microns of different rocks of earthquake zones and crustal fault. the sizes of the nanocrystals and internal stresses in them. the results showed that the formation of the nanocrystals in the surface layers of the earth plates may be due to the instability of their slip relative to each other (ie with shocks and earthquakes). unstable slip simulate the samples of one of the rocks (sandstone) in the laboratory. results of investigation of nanocrystals in the surface layer of rocks about 30 nm in thickness before and after sliding.

*Keywords:* nanocrystals in rocks, mountain bumps, earthquake

Земные породы, добытые из геотектонических зон, часто обладают зеркалами скольжения. Под ними понимают гладкие, шлифованные или отполированные поверхности, возникшие при трении скользящих по разрыву пород. Наличие зеркал скольжения в зонах палеосейсмических событий позволяет связывать их генезис с сейсмическим процессом. Они, как правило, образуются при скоростях скольжения, превышающих 1 м/с, когда коэффициент трения на контакте пород уменьшается, по крайней мере, на порядок. Это явление объясняется образованием между блоками горных пород промежуточного слоя – зеркала скольжения – с низким сопротивлением сдвигу.

Авторами были проведены систематические исследования нанокристаллов, образующихся в зеркалах скольжения различных горных пород [1–3]. С этой целью использовали методы инфракрасной, рамановской и флуоресцентной спектроскопии. Они позволяют определить состав горных пород, размеры содержащихся в них нанокристаллов и внутренние напряжения в них.

Использованный метод оценки размеров нанокристаллов основан на явлении фоннного конфейнмента. Известно, что в рамановских и инфракрасных спектрах макрокристаллов форма полос симметричная дисперсионная. Для примера на рисунке показана полоса  $695,1 \text{ см}^{-1}$  в инфракрасном спектре затухания  $\varepsilon''(\nu)$  макрокристалла кварца. В тоже время в спектрах нанокристаллов форма полос становится асимметричной. Анализируя асимметрию по известным формулам, можно оценить размеры нанокристаллов [1].

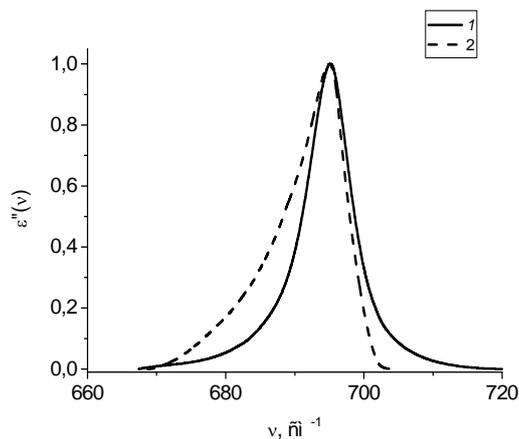


Рис. Полоса  $695 \text{ см}^{-1}$  в спектре макрокристалла (1) и нанокристаллов (2) кварца

Для определения напряжений  $\sigma$  в нанокристаллах использовали смещение частоты максимума  $\Delta\nu$  полос [2]. Величина смещения  $\Delta\nu$  пропорциональна напряжению:  $\Delta\nu = \alpha\sigma$ , где  $\alpha$  – коэффициент пропорциональности.

Исследования показали, что минеральный состав зеркал скольжения, как правило, отличен от состава породы под ним, а кристаллы минералов в зеркале имеют наноразмеры и их кристаллическая решетка деформирована. Так, зеркало скольжения на поверхности песчаника содержит только кристаллы монтмориллонита и анатаза. Средний линейный размер первых составляет  $\approx 15 \text{ нм}$ , а вторых  $\approx 3 \text{ нм}$ . Кристаллы монтмориллонита растянуты, а анатаза – сжаты. На глубине, превышающей  $3 \text{ мм}$  от поверхности зеркала скольжения, песчаник, кроме монтмориллонита и анатаза, содержит кристаллы бейделита и нонтронита, кварца, плагиоклаза. Различие минерального состава зеркала скольжения и объема под ним вызвано, вероятно, одновременным протеканием при скольжении берегов разрыва относительно друг друга двух противоположных процессов: с одной стороны, происходит разрушение кристаллов одних минералов, а с другой – создание на их месте нанокристаллов других новых минералов.

Была сделана попытка воспроизвести неустойчивое скольжение при трении пластинок песчаника относительно друг друга в условиях лаборатории. Оказалось, что при некоторых давлениях сжатия перпендикулярно направлению смещения эти пластинки начинают перемещаться скачками. Методами рамановской и флуоресцентной спектроскопии были проведены исследования минерального состава и размеров и напряженности кристаллической решетки нанокристаллов в поверхностных слое пластин толщиной около  $30 \text{ нм}$  до и после трения. Оказалось, в некоторых областях на поверхности пластин минеральный состав этого слоя и размеры нанокристаллов в нем приближаются к составу природного зеркала скольжения.

## Литература

1. Zhang W.F., He Y.L., Zhang M.S., Yin Z., Chen Q. Raman scattering study on anatase TiO<sub>2</sub> nanocrystals // *J. Phys. D. Appl. Phys.* 2000. V. 33. P. 912–916.
2. Madelung O. *Festkopertheorie*. Berlin: Springer Verlag. 1972. 418 p.
3. Исследование нанокристаллов в зоне динамической подвижки / Г.А. Соболев [и др.] // *Физика Земли*. 2012. № 9–10. С. 17–25.
4. Исследование нанокристаллов и механизма образования зеркала скольжения / Г.А. Соболев [и др.] // *Вулканология и Сейсмология*. 2015. № 3. С. 3–14.
5. Исследование нанокристаллов в образце зеркала скольжения / Г.А. Соболев [и др.] // *Геофизические исследования*. 2015. Т. 16. № 2. С. 5–14.