

## ОСОБЕННОСТИ УПРУГО-АНИЗОТРОПНЫХ СВОЙСТВ ПОРОД В РАЗРЕЗЕ ФИНСКОЙ СКВАЖИНЫ ОУТОКУМПУ (ОКУ)

Ф.Ф. Горбачев, М.В. Ковалевский, О.М. Тришина.  
Геологический институт Кольского научного центра РАН.  
г. Апатиты, e-mail: gorich@geoksc.apatity.ru

В январе 2005 г. в Финляндии (г.Оутокумпу) было закончено бурение исследовательской скважины, которая достигла глубины 2516 м. Скважина заложена в юго восточной части Финляндии около отработанного полиметалльного месторождения с тем же наименованием. Финская геологическая служба, по инициативе которой осуществлен проект бурения глубокой скважины Оутокумпу, обратилась в Геологический институт КНЦ РАН с предложением, принять участие в изучении образцов вскрытого массива пород.

Реальный разрез показал, что верхняя часть скважины, примерно до глубины 1310 м прошла через слюдистые сланцы с редкими прослоями биотитовых гнейсов [1]. Интервал 1310-1515 м сложен перемежающимися слоями черных сланцев, биотитовых гнейсов, серпентинитов, диопсид-тремолитовых скарнов. Ниже 1515 м залегают слюдистые сланцы с редкими слоями черных сланцев и жилами кварца. Начиная с глубины 1655 м слюдистые сланцы перемежаются, в основном, слоями пегматитовых гранитов и биотитовых гнейсов. Тела пегматитовых гранитов, гранат-биотитовых гнейсов, биотит-сиилиманитовых сланцев слагают нижнюю часть вскрытого разреза до предельной глубины 2516 м.

На первом этапе исследований были изготовлены шлифы 43 образцов, доставленных из Финляндии. Примеры структуры наиболее представительных пород (образцы №№ ODB-153\_20, ODB-599\_00, ODB-1101\_30, ODB-1414\_75 (верх); ODB-1488\_65, ODB-1893\_80, ODB-2155\_15, ODB-2297\_25 (низ)) приведены на рис. 1. Затем выполнены определения типа, структуры, текстуры, вещественного состава, плотности пород. Плотность пород  $\rho$  определяли методом Архимеда.

На последующих этапах произведена акустополарископия образцов. Метод акустополарископии предназначен для изучения упругих и неупругих свойств преимущественно анизотропных твердых сред [2]. Он позволяет определить наличие упругой анизотропии, число и пространственную направленность элементов симметрии, тип симметрии и величины констант упругости. Метод апробирован на средах поперечно-изотропной, ромбической и других типов симметрий. Принципиальная схема наблюдений, осуществляемых по этому методу, не отличается от схемы, применяемой при поляризационных наблюдениях в оптике [3]. Акустополариграммы образцов (№№ ODB-153\_20, ODB-599\_00, ODB-1101\_30, ODB-1414\_75, ODB-1488\_65, ODB-1893\_80, ODB-2155\_15, ODB-2297\_25) приведены на рис. 2. Выявлено, что на образцах ОКУ сравнительно часто регистрируется эффект линейной акустической анизотропии поглощения (ЛААП). Среди образцов, отобранных в нижней части разреза наблюдается проявление эффекта деполяризации сдвиговых волн (ДСВ) Ранее эти эффекты были обнаружены на образцах пород Кольской сверхглубокой скважины [4].

На последнем этапе измерений определены скорости распространения продольных и поперечных колебаний, степень проявления эффекта линейной анизотропии поглощения (ЛААП)  $D$ , проекции элементов симметрии по отношению к граням образца, рассчитаны показатели упругой анизотропии пород  $A_p$ ,  $B_s$ .

Построенные по данным измерений на рис. 3 приведены зависимости скорости распространения продольных  $V_p(e)$ ,  $V_p(p)$  и поперечных  $V_s(e)$ ,  $V_s(p)$  волн от глубины  $H$ .  $V_p(e)$ ,  $V_s(e)$  представляют собой экспериментально измеренные величины на образцах, а  $V_p(p)$ ,  $V_s(p)$  – рассчитанные по минеральному составу пород. Если величины  $V_p(p)$ ,  $V_s(p)$  не показывают какой-либо зависимости от глубины отбора образца, то экспериментальные значения  $V_p(e)$ ,  $V_s(e)$  демонстрируют общую тенденцию уменьшения этих величин с глубиной. В целом, тренд этой тенденции близок к линейному (см. красную (для  $V_p(e)$ ) и

зеленую линии (для  $V_S(e)$ ), рис. 3). Замеченная тенденция снижения величин скорости  $V_P(e)$ ,  $V_S(e)$  свидетельствует о проявлении эффекта разуплотнения, которое испытывают образцы при выбуривании их из массива и освобождения от литостатических напряжений. Ранее этот эффект был зарегистрирован на образцах Кольской сверхглубокой скважины СГ-3 [4].

Сводные результаты измерений показателей анизотропии  $A_P$ ,  $B_S$  и плотности  $\rho$  в зависимости от глубины  $H$  приведены на рис. 4. Там же представлен график изменений величины угла отклонения скважины от вертикали  $\Delta$ . Полученные данные позволяют заключить, что плотность пород практически не изменяется по глубине. Однако в интервалах около 1310, 1480 м наблюдаются резкие отклонения величины  $\rho$  в большую сторону, что объясняется присутствием в породах рудных и темноцветных минералов. Судя по величинам показателей анизотропии  $A_P$ ,  $B_S$ , наиболее анизотропные породы залегают на глубинах около 900, 1460 м и в интервале 1650-2300 м. Поскольку в метаморфических породах упругая анизотропия пород, как правило, отражает характер поля палеонапряжений, можно считать, что наиболее значимые палеогеодинамические события в разрезе скважины ОКУ происходили на глубинах около 900, 1460 м и в интервале 1650-2300 м.

Сравнение тенденций изменения  $A_P$ ,  $B_S$  и угла отклонения  $\Delta$  скважины от вертикали (рис. 4) свидетельствует о связи между этими параметрами. В первой части сечения скважины, (до глубины ~1100 м) когда анизотропия имеет высокие показатели, угол  $\Delta$  заметно увеличивается. На глубинах ~1100-1300 м, как  $A_P$ ,  $B_S$ , так и  $\Delta$  снижаются. От 1550 м при увеличении глубины наблюдается рост показателей анизотропии и величины отклонения скважины от вертикали. Ранее подобное влияние анизотропии пород на отклонения скважины отмечено в процессе бурения Колькой сверхглубокой [4]. Таким образом, упругая (структурная) анизотропия пород оказывает влияние на технологические параметры бурения скважины ОКУ.

В 2010-2012 гг. сотрудничество между Геологическим институтом КНЦ РАН и Геологической службой Финляндии будет развиваться в рамках нового проекта «Бурение вблизи постгляционных разломов Фенноскандии».

Работа выполнена при финансовой поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, грант № 10-05-00082-а.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kukkonen, Ilmo T. and the Outokumpu deep drilling working group. 2009. Outokumpu deep drilling project – Introduction to Geology and Geophysics of the Deep Hole and Research Within the Project: Third International Workshop Espoo, Finland, November 12-13, 2009. Espoo. Geological Survey of Finland. Report Q10.2/2009/61, 11-16.
2. Горбацевич Ф.Ф. Акустополярископия горных пород. Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 1995. 204 с.
3. Волкова Е.А. Поляризационные измерения. М.: Изд-во Стандартов, 1974. 156 с.
4. Строение литосферы российской части Баренц-региона / Под ред. Н.В. Шарова, Ф.П. Митрофанова, М.Л. Вербы, К. Гиллена. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2005, 318 с.

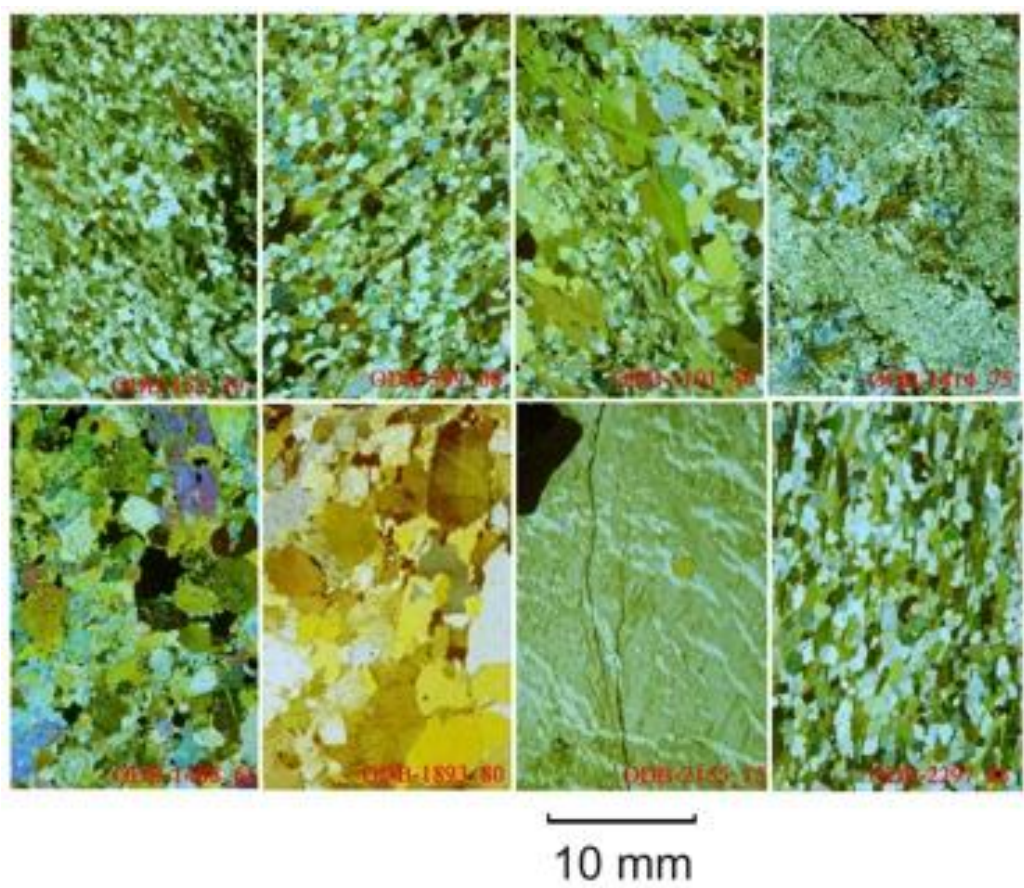


Рис. 1

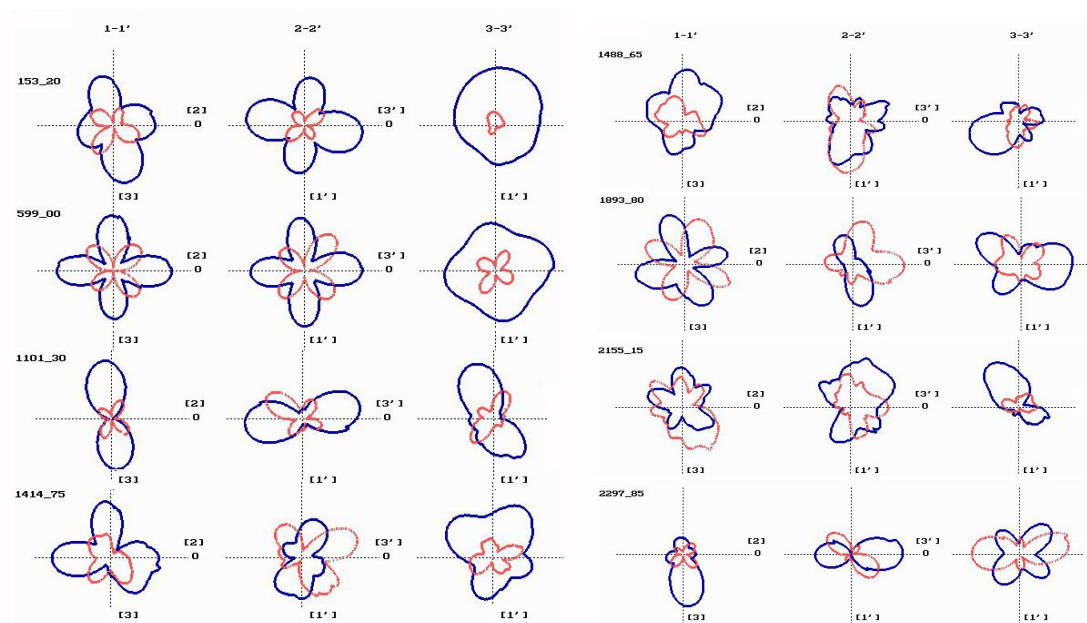


Рис. 2

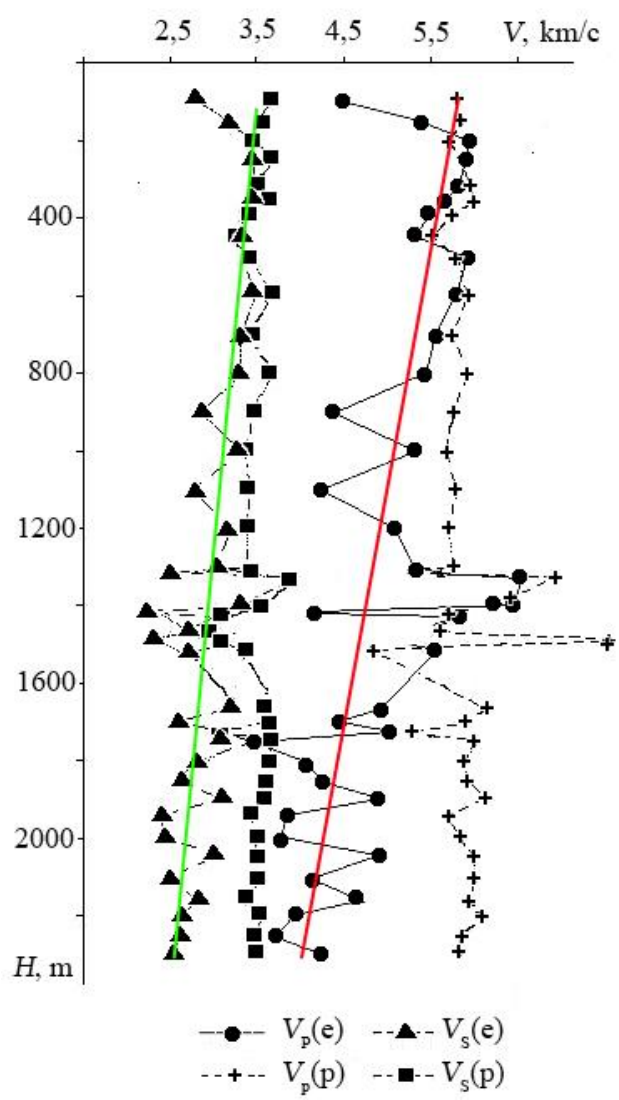


Рис. 3

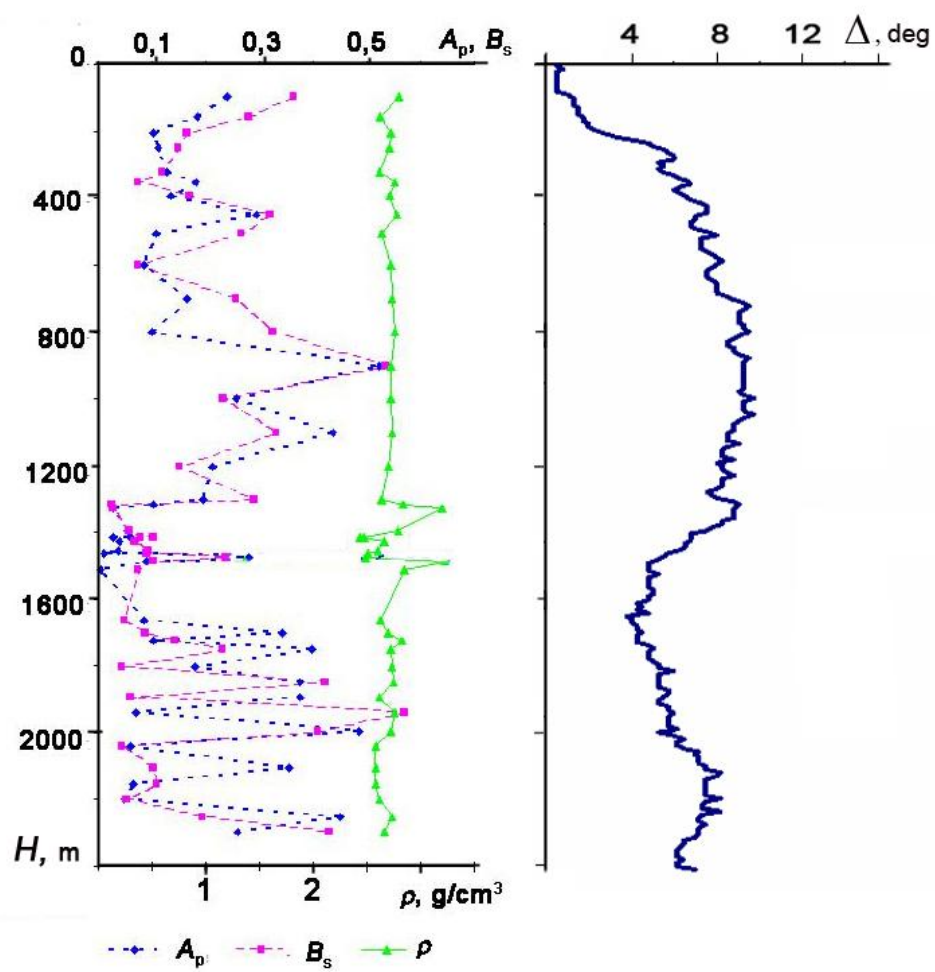


Рис. 4