

**ДЕФОРМАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ СТРУКТУРНОГО НАРУШЕНИЯ В
СЕЙСМИЧЕСКИ-АКТИВНОЙ ЗОНЕ ПРИБАЙКАЛЬЯ
DEFORMATION MONITORING OF STRUCTURAL DEFECTS IN THE
SEISMICALLY ACTIVE ZONE OF THE BAIKAL REGION**

Е.А.Виноградов, Г.Г.Кочарян, Д.В.Павлов

Институт динамики геосфер РАН, gian.vin@gmail.com

The paper presents results of long-term deformation monitoring started in 2009 in a seismically active region at one of the fractures in the influence zone of Slyudyanka fragment of the Main Sayan Fault. Other experiments were carried out on artificial disturbance of a fracture in the influence zone of the Arshan fragment of the Tunka Fault in Buryatia. Small charges of explosive and hydraulic jacks were used to produce these disturbances. As a result it was demonstrated that a stressed fracture can react to both dynamic and quasi-static disturbances. An important fact is that even a small relative movement of the fracture sides under low-amplitude disturbance can produce residual deformation.

В настоящее время можно считать доказанным тот факт, что очаги сейсмических событий неизменно приурочены к разломным зонам, и чем крупнее разлом, тем большей интенсивности землетрясение может быть с ним связано. Тем самым определяется тот значительный научный интерес к разломам, касающийся как фундаментальных задач сейсмологии, так и необходимости прогнозирования и, в перспективе, предотвращения катастрофических последствий крупных землетрясений.

В связи с этим накопление информации о деформационном режиме активных разломов в сейсмически-активном районе представляется довольно важной задачей.

В ходе проведения натуральных экспериментов в Прибайкалье в 2009 году для регистрации смещения берегов трещины активного разлома использовались индуктивные датчики перемещения М-022А типа LVDT производства фирмы "Микромех" (г. С.-Петербург). Конструктивные особенности датчиков этого типа определяют значительный динамический диапазон измеряемых перемещений (от десятков микрон до $\pm 0,5$ м) и возможность работать в самых жестких условиях эксплуатации.

Кроме датчиков деформации в состав измерительного канала входит также температурный датчик, контроллер БИН-8 производства НПО "Промтрансавтоматика" (г. С.-Петербург) и компьютер. Данный измерительный комплекс позволяет проводить измерения относительных смещений в пределах $\pm 1,5$ мм с разрешением 0,2 мкм.

Для проведения деформометрических измерений были выбраны два активных разлома. В апреле 2009 в штольне сейсмостанции «Талая» был организован длительный мониторинг одной из трещин, находящихся в зоне влияния Слюдянского фрагмента Главного Саянского разлома. Такой выбор участка был обусловлен рядом причин. В первую очередь, Байкальская рифтовая зона является активным в тектоническом плане регионом, с большим количеством сейсмических событий. Свидетельством современной активности участка может служить серия сильных и умеренных землетрясений, произошедших в 2008-2009гг. Во-вторых, наличие сейсмостанции позволяет исследовать корреляцию движения берегов трещин с происходящими удаленными сейсмическими событиями. Кроме того, довольно большое значение имеет тот факт, что штольня обеспечивает температурную стабильность, тем самым сводя к минимуму или полностью исключая температурные деформации.

Выбранная для измерений трещина расположена примерно в 60 м от портала штольни. На рис. 1 можно видеть, что измерительная точка находится на глубине около 30 м от свободной поверхности. Штольня не имеет бетонной обделки, в ряде мест применена деревянная крепь. Трещина хорошо прослеживается на обеих стенках и на кровле выработки, что хорошо видно на рис. 2. По простиранию плоскость трещины почти перпендикулярна оси штольни, а по падению образует с последней угол около 15° . Трещина "залечена" и заполнена минерализованным веществом. Её мощность составляет 2-3 см.

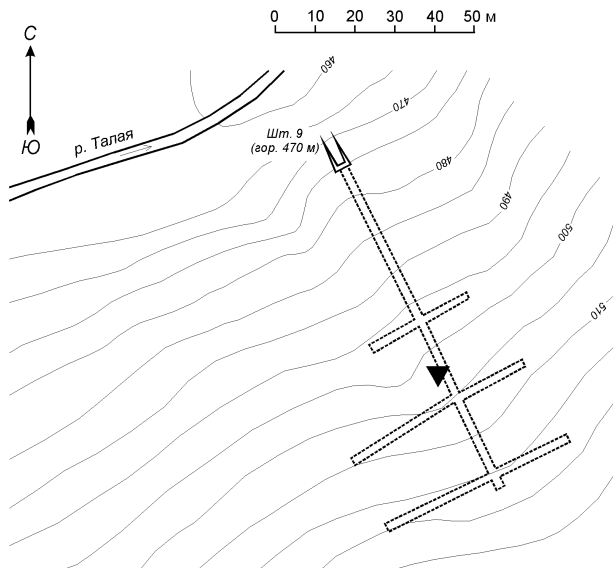


Рис.1 Схема штольни сейсмостанции "Талая". Черным треугольником показано место расположения деформометрической станции ИДГ РАН.

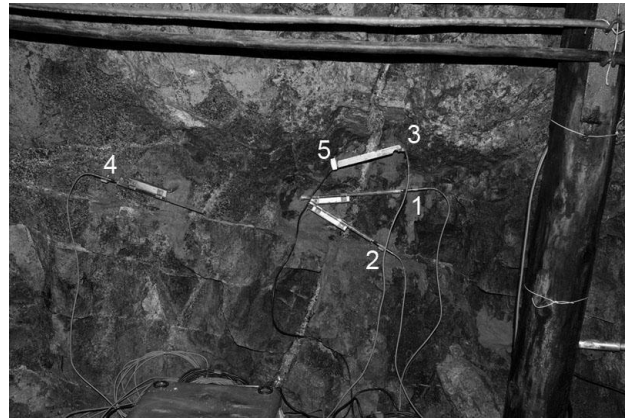


Рис.2 Внешний вид одной из измерительных станций.

1 и 2 – датчики для регистрации раскрытия трещины и сдвиговых смещений её берегов; 3 – датчик для регистрации сбросовых смещений берегов трещины; 4 – датчик на целике; 5 – датчик температуры.

На рис.3 представлены полученные в ходе работ записи датчиков. Цифры соответствуют обозначениям на рис.2, вертикальными линиями показаны моменты землетрясений $M=3.2-3.6$, имевших место в регионе и зафиксированных сейсмостанцией. Можно видеть, что перемещения на датчиках 1,3 и 4 довольно малы (хотя и заметно больше погрешности измерений), тогда как на датчике №2 начиная с 20го июля наблюдается явное движение, соответствующее раскрытию трещины. На фоне этого движения можно отметить три релаксационных сброса, 13 июля, 24 июля и 1 августа, с амплитудой 5-15 мкм и длительностью порядка нескольких секунд.

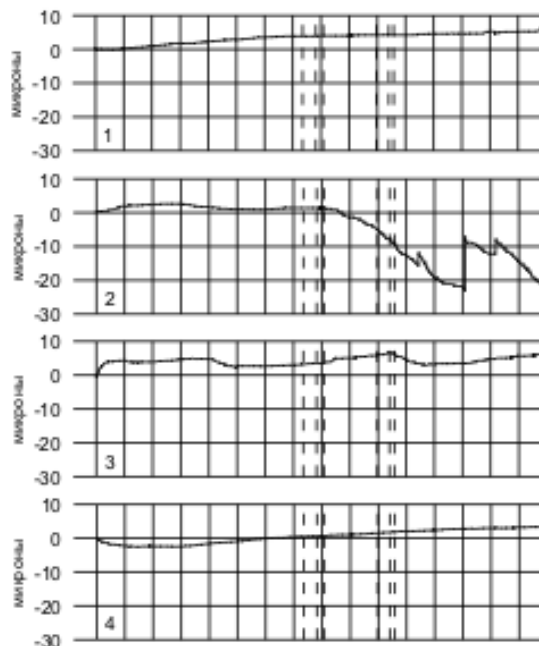


Рис.3 Результаты измерений относительных смещений берегов трещины с 24.04.2009 (00:00:00 GMT) по 14.08.2009 (00:00:00 GMT). Цифры на панелях соответствуют рис. 4 Вертикальным пунктиром показаны моменты землетрясений с магнитудой $M=3.2-3.6$, произошедших в регионе.

Регистрационная аппаратура ИЗК СО РАН была установлена на соседней трещине с простиранием 290° , близким к простиранию Главного Саянского разлома. На трещине отчетливо видны следы катаклаза и отсутствуют признаки залечивания, что можно считать признаками кайнозойского возраста и современной активности. Именно этим можно объяснить значительно большие перемещения берегов по сравнению с вышеописанной трещиной. После относительного перемещения бортов трещины наблюдался релаксационный обратный ход деформации в течение нескольких суток.

При помощи взрывов малой мощности и с использованием гидравлического домкрата в рамках данного исследования применялось также искусственное воздействие на трещину. Такие эксперименты проводились в Бурятии, на Аршанском фрагменте Тункинского разлома.

Домкрат грузоподъемностью 50 тонн использовался для квазистатического нагружения трещин в разломной зоне. Домкрат устанавливался в подготовленную полость в разрывном нарушении, после чего плавно увеличивалось усилие домкрата посредством ручного насоса. После нагружения стенок трещины выдерживалась пауза в несколько минут, после чего осуществлялся сброс нагрузки домкрата. Измерения велись на расстоянии 6-12 м от точки приложения нагрузки.

Пример записи относительно перемещения берегов трещины, расположенной на расстоянии 12 м. от точки приложения нагрузки, можно видеть на рис.4. Хорошо заметно, что после снятия нагрузки на трещине присутствуют остаточные смещения, амплитуда которых уменьшается по достижении пиковой величины во втором цикле нагружения.

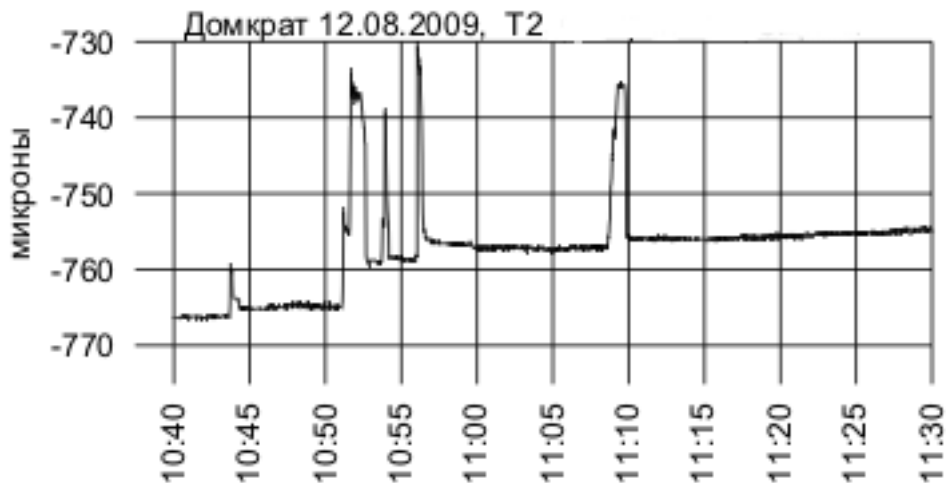


Рис.4 Относительное перемещение берегов трещины на расстоянии 12м от точки приложения квазистатического усилия. Каждый пик соответствует циклу нагрузка- разгрузка.

Схема взрывного эксперимента была аналогична описанной выше, с той разницей, что дополнительно устанавливались трехкомпонентные точки сейсморегистрации на основе приемников GS-20DX для измерения параметров взрывной волны.

Всего было проведено 3 взрыва с массой зарядов по 15 г каждый. На рис.5 приведены результаты раскрытия трещины и горизонтальная компонента скорости смещения в результате одного из взрывов. При уменьшении максимальной скорости смещения грунта на порядок ($V_{\max} \sim 5 \cdot 10^{-4}$ см/с) остаточных смещений при данной разрешающей способности аппаратуры обнаружено не было.

На рис.6 приведено сравнение полученных данных с результатами проведенных ранее экспериментов на различных объектах, среди которых стык секций плотины Братской ГЭС, тектоническая трещина в стенке выработки в Хибинах и другие. Хорошо видно, что полученные результаты не противоречат иным данным, располагаясь вблизи прямой, проведенной методом наименьших квадратов по этим точкам.

Таким образом, проведенные эксперименты позволили нам примерно на порядок продвинуться в сторону низких амплитуд динамических воздействий по сравнению с измерениями прошлых лет.

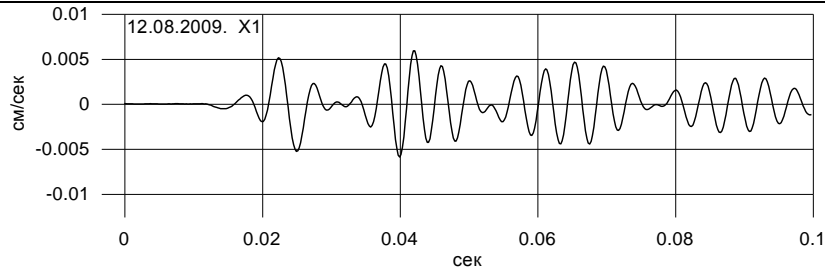
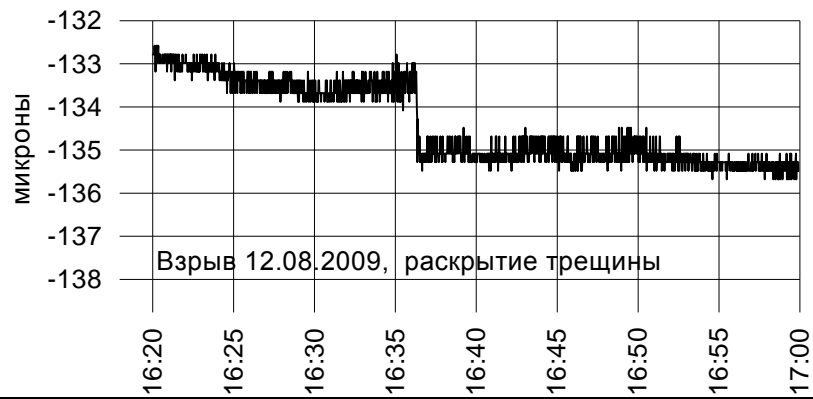


Рис.5 Раскрытие трещины, расположенной на расстоянии 15м от взрыва заряда массой 15г., и горизонтальная компонента скорости смещения грунта.

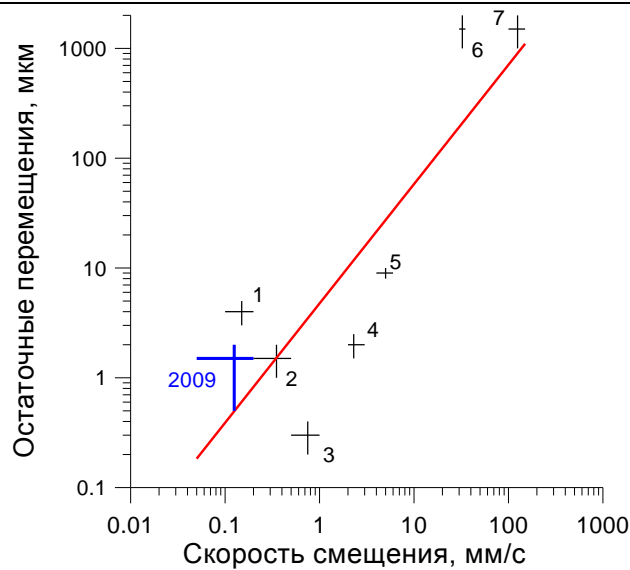


Рис.6 Зависимость зарегистрированных остаточных перемещений от амплитуды динамического воздействия. Цифрами обозначены более ранние эксперименты

Красная линия – регрессионная зависимость $\Delta W = 3.2 \cdot u_m^{1.06}$, проведенная по точкам 1-7.

Синим цветом выделены результаты измерений 2009г.

В настоящее время непрерывный мониторинг трещины в стенке штольни продолжается, в декабре 2009 г. дополнительно установлена вторая точка регистрации на соседней трещине. Ожидается, что накопление данных по движению берегов трещин позволит лучше понять геомеханику разлома и его реакцию на удаленные сейсмические события.