

# Тектонические компоненты деформаций горных пород и возможности их использования для оценки сейсмической опасности

**Борняков С.А.**

Иркутский государственный университет;  
Институт земной коры  
Сибирского отделения Российской Академии наук,  
г. Иркутск. Россия

**Салко Д.В.**

Институт земной коры  
Сибирского отделения Российской Академии наук,  
г. Иркутск. Россия

УДК 550.334

С целью поиска предвестников землетрясений на Южно-Байкальском геодинамическом полигоне проводится инструментальный мониторинг деформаций горных пород пространственной сетью штанговых датчиков, размещенных в штольне (рис.1).

Регистрация деформаций осуществляется штанговыми аналоговыми тензодатчиками на базе первых метров с дискретностью 10 с. Датчики устанавливались горизонтально вдоль стенок основного или боковых ходов штольни. Для оцифровки аналогового сигнала от датчиков использовались преобразователи [1], обеспечивающие их высокую разрешающую способность.

Обработка временных рядов данных мониторинга осуществляется с помощью специально созданной авторами компьютерной программы, позволяющей фильтровать исходную выборку для исключения тех или иных компонент колебательного процесса, убирать трендовую составляющую, производить расчет корреляционной функции. Первоначально из выбранного для обработки временного ряда исходных данных (рис.2, А), исключается суточная компонента, связанная с лунно-солнечными приливами, и тренд (рис.2, Б). Далее отфильтрованные временные ряды данных усредняются для устранения аппаратных и других высокочастотных шумов. Для этого используется окно размером 2 часа, скользящее по выборке данных с шагом 10 секунд. Для каждого положения окна, включающего 720 значений деформаций, рассчитывается среднее значение. Пример осредненного временного ряда данных приведен на рисунке 2В. В дальнейшем, по преобразованным таким способом данным рассчитываются корреляционные функции для каждой пары точек с целью выявления временного сдвига в проявлении в них однотипных деформаций. Описанный способ обработки данных ориентирован на выделение волновой составляющей деформационного процесса и при наличии в нем периодических деформационных волн позволяет оценивать их основные параметры, — длину волны, период и скорость пространственной миграции.

Анализ полученных временных рядов данных показал, что деформации реализуются в форме колебательного процесса, с широким спектром периодов колебаний [2,3]. В структуре деформаций можно выделить две группы компонент различной природы, источниками которых в одном случае являются тектонические процессы внутри Земли, в другом случае процессы за её пределами.

В тектонической группе выделено две компоненты, — непериодическая и периодическая. Первая компонента проявляется в виде импульсных аномальных деформаций.

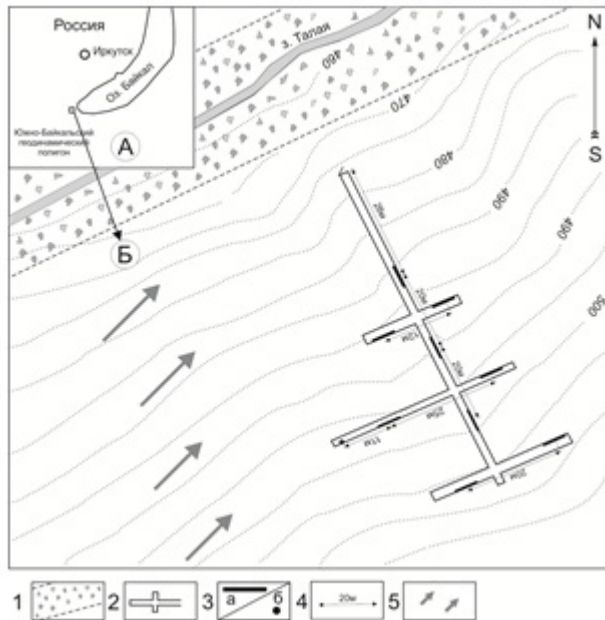


Рисунок 1. Местоположение пункта мониторинга на Южно-Байкальском геодинамическом полигоне (А) и схема штольни с расположением в ней штанговых датчиков (Б). 1- зона разлома; 2 — контур штольни; 3 — горизонтально (а) и вертикально (б) расположенные штанговые датчики; 4- указатель расстояния между датчиками в метрах; 5 — направление распространения деформационных волн.

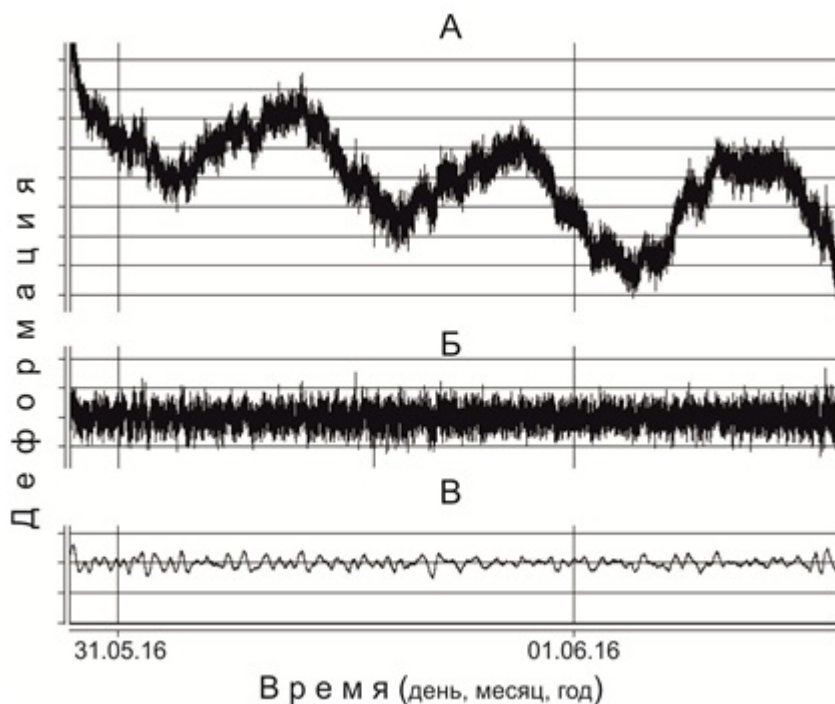


Рисунок 2. Пример временного ряда деформаций для точки 3 в оригинальном виде, (А), после исключения суточной компоненты и тренда (Б) и после осреднения (В).

Они не регулярны, проявляются эпизодически, имеют волновую природу и являются следствием прохождения через точки мониторинга одиночных деформационных волн. Скорость их пространственной миграции непостоянна и меняется от первых сантиметров до первых десятков сантиметров в секунду. Среди них можно выделить два типа деформационных волн, отличающихся по основным параметрам. Деформационные волны первого типа выражены во временных рядах данных асимметричными импульсами с амплитудами в десятки микрон и длинами волн в сотни метров (рис.3 А). Они проходят транзитом через все точки мониторинга и, как правило,

сопровождается остаточными деформациями в первые микроны. Вероятно, что их источники находятся за пределами Южно-Байкальского геодинамического полигона.

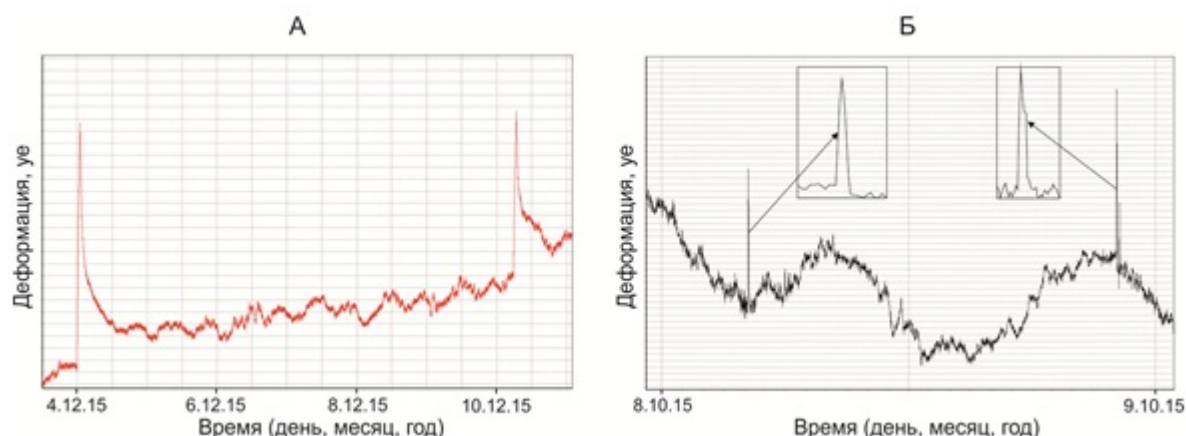


Рисунок 3. Примеры импульсных изменений деформаций горных пород, обусловленных деформационными волнами первого (А) и второго (Б) типов

Деформационные волны второго типа представлены во временных рядах данных симметричными или асимметричными импульсами с амплитудами в первые микроны и длинами волн в первые десятки метров (рис.3 Б). По сравнению с деформационными волнами первого типа они проявляются чаще, не сопровождаясь остаточными деформациями, и предположительно имеют локальную природу, связанную с перераспределением напряжений в разломно-блоковой структуре Южно-Байкальского геодинамического полигона. Замечено, что частота их проявления существенно возрастает перед недалекими землетрясениями.

Второй компонентой тектонической группы является постоянно присутствующая периодическая волновая компонента с длиной волны в сотни метров и амплитудой — первые микроны. Направление и скорость пространственной миграции выделенных деформационных волн варьируют во времени. Так, вектор их движения в среднем ориентирован с юго-запада на северо-восток и близок к направлению действия сжатия от Индостанской коллизии (рис.1) [4]. Скорость миграции изменяется как на коротких, так и на больших временных интервалах. На рисунке 4 приведен пример вариации этого параметра на коротком временном интервале перед землетрясением энергетического класса 10,4 с эпицентром, расположенным в зоне Обручевского разлома в 90 км от пункта мониторинга. Видно, что скорость пространственной миграции деформационных волн за три дня до землетрясения резко возросла с 50 мм/с до 430 мм/с, затем уменьшилась до 17 мм/с и перед его реализацией восстановилась до первоначального значения. Такая сильная вариация скорости нехарактерна для коротких временных интервалов, где её максимальные значения обычно не отличаются от средней величины более чем в два раза. С высокой долей вероятности можно считать, что описанное выше существенное изменение скорости обусловлено прохождением одиночной волны сжатия, которая явилась триггером для произошедшего землетрясения и во фронте которой в компрессионных условиях, то есть в условиях высокого уровня напряжений, эта скорость резко возросла. В пользу такой трактовки говорят известные экспериментальные данные, показывающие, что увеличение внешнего сжатия блочной системы приводит к росту скоростей распространения в ней разных волн [5 и др.].

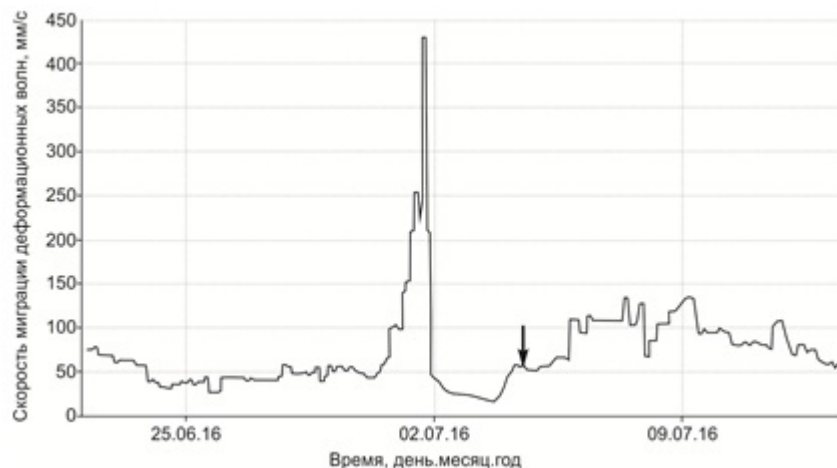


Рисунок 4 — Изменение скорости пространственной миграции деформационных волн на коротком временном интервале перед землетрясением. Момент землетрясения отмечен вертикальной стрелкой.

На большом временном интервале скорость пространственной миграции деформационных волн подвержена флуктуациям, но в целом возрастает. Результаты обработки временных рядов данных показывают, что за период с 2016 года по 2018 год их усредненная скорость выросла с 50 м/с до 500 м/с (рис.5). Следуя выше изложенной логике связи скорости деформационных волн в блочной среде с уровнем накопленных в ней напряжений, можно констатировать, что уровень напряжений в литосфере Южного Байкала за последние три года существенно возрос. Если принять, что уровень высокий уровень напряжений в 2016 году, обеспеченный транзитным прохождением деформационной волны, был кратковременным, локальным и достаточным для инициации землетрясения кратковременно (рис.4), то высокий уровень напряжений 2018 года представляется региональным и стабильно действующим, потенциально способным к масштабной сейсмогенной разрядке.

Резюмируя все выше представленное можем констатировать, что обработка и анализ данных мониторинга деформаций горных пород позволил выделить в деформационном процессе две тектонические компоненты, которые могут быть использованы для оценки текущей сейсмической опасности. А именно, высокие скорости пространственной миграции для периодической волновой компоненты с одной стороны (рис.5), и частое проявление неперiodической импульсной компоненты с другой стороны (рис.3-Б), являются показателем критического, предсейсмогенного состояния разломно-блоковой структуры литосферы.

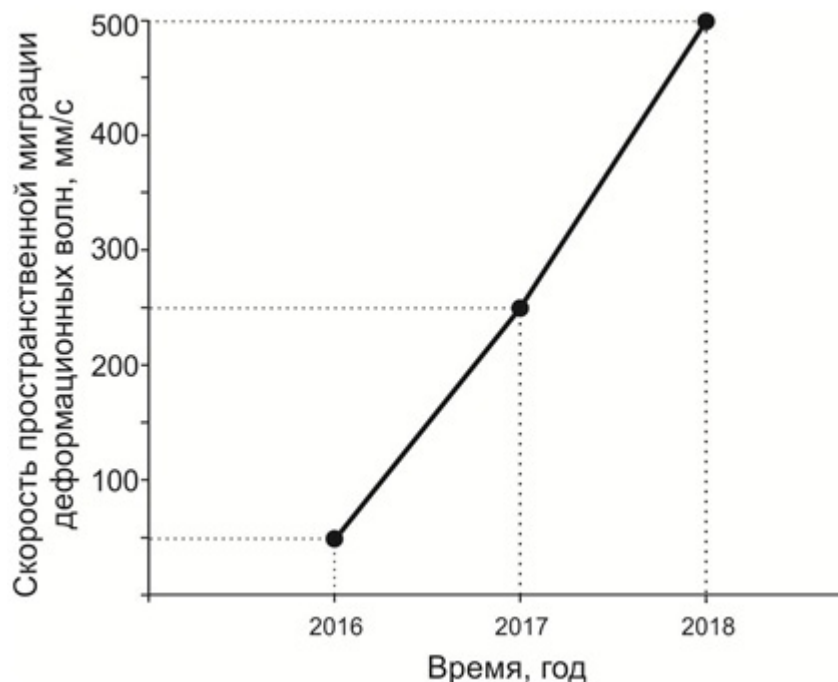


Рисунок 5 — Изменение средней скорости деформационных волн во времени в пределах Южно-Байкальского геодинамического полигона

Работа выполнена в рамках раздела «Тектонофизика современных геодинамических процессов в литосфере Центральной Азии как основа прогноза чрезвычайных ситуаций природного характера» Программы фундаментальных научных исследований «Катастрофические эндогенные и экзогенные процессы, включая экстремальные изменения космической погоды: проблемы прогноза и снижения уровня негативных последствий» (№ 0346-2018-0003)

#### Использованная литература

1. Салко Д.В., Борняков С.А. Автоматизированная система для мониторинга геофизических параметров на геодинамических полигонах // Приборы. — 2014. — № 6. — С.24-28.
2. Борняков С.А., Мирошниченко А.И., Салко Д.В. Диагностика предсейсмогенного состояния структурно-неоднородных сред по данным деформационного мониторинга // ДАН. 2016. т.468. № 1 С.84-87.
3. Борняков С.А., Салко Д.В., Семинский К.Ж., Дэмбэрэл С., Ганзориг Д., Батсайхан Ц., Тогтохбаяр С. Инструментальная регистрация медленных деформационных волн на южно-байкальском геодинамическом полигоне // ДАН. 2017. Т. 473, № 3, С. 355–358.
4. Molnar P., Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: effect of continental collision // Science. 1975. P.419-426.
5. Александрова Н. И., Шер Е. Н. Моделирование процесса распространения волн в блочных средах // ФТПРПИ. 2004. № 6ю С. 49-57.