

Особенности геодеформационных измерений приповерхностных осадочных пород

ЛАРИОНОВ И. А., НЕПОМНЯЩИЙ Ю. А.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН
с. Паратунка, Камчатский край, Россия
e-mail: igor@ikir.ru vicekam@gmail.com

Излагаются результаты исследований деформационного процесса в приповерхностных осадочных породах, которые, начиная с 2007 г. проводятся в сейсмоактивном регионе на полуострове Камчатка. Особенностью экспериментов является использование для регистрации геодеформаций лазерного деформографа-интерферометра, собранного по схеме интерферометра Майкельсона.

Сейсмотектонический процесс, проявляющийся как результат накопления и сброса напряжений в литосфере, вследствие движения и взаимодействия материковых и океанических плит, представляет большой интерес для изучения, т. к. играет значительную роль во многих геофизических процессах. Для диагностики деформаций используются различные методы прямого измерения, с помощью деформографов, а так же изучением связанных с ними процессов, таких как генерация акустической эмиссии, изменение приземного электрического поля, регистрация выхода различных газов.

Одним из эффективных способов прямых наблюдений за деформациями является использование лазерных деформографов. Принцип работы самых простых состоит в том, что изменение базы деформографа приводит к дополнительному приращению фазы в волне лазерного излучения. Метод её измерения заключается в следующем. Смещение зеркал интерферометра, расположенных на концах базы l , на величину $\lambda/2$ даёт изменение интерференционной картины на одну полосу, где λ - длина волны света, на которой работает интерферометр. Общее относительное смещение будет равно $\Delta l = N(\lambda/2)$, где N – количество полос интерференционной картины. Возможности интерференционного метода ограничиваются точностью измерения перемещений доли полосы ΔN , которая определяется параметром резкости интерференционной картины F_k и характеризуется отношением $F_k = \frac{\Delta \lambda}{\delta \lambda}$, т.е. составляет отношение расстояния между максимумами к половине ширины максимума $\delta \lambda$.

Преимуществом лазерных деформографов перед механическими аналогами является, в первую очередь, исключение механического чувствительного элемента. Влияние вариаций метеорологических параметров на показания прибора сводится, в основном, к их воздействию на изменение оптического пути лазерного луча. При использовании герметизированных или вакуумированных световодов точность измерения относительных деформаций земной коры для лучших образцов интерферометров составляет величину 10^{-10} – 10^{-11} . На измерения, проводимые деформографами “открытого” типа, без использования световодов, накладываются ограничения по точности регистрации, обусловленные влиянием вариаций метеорологических параметров. Наиболее сильное влияние оказывают ветер, осадки, температура воздуха и атмосферное давление [2]. Для устранения влияния ветра и осадков используют специальные укрытия. Изменение атмосферного давления и температуры воздуха достаточно медленный процесс, который происходит в течение нескольких часов, что позволяет делать оценки для более быстрых деформационных процессов. Исходя из расчётных данных, деформограф, установленный в таких условиях, имеет точность измерения относительных деформаций не хуже 10^{-8} . Как показывают результаты наблюдений, при деформации такого порядка и более в осадочных породах возникают эффекты, при которых генерируются акустические сигналы в частотном диапазоне от десятков герц до первого десятка килогерц [1,3,4].

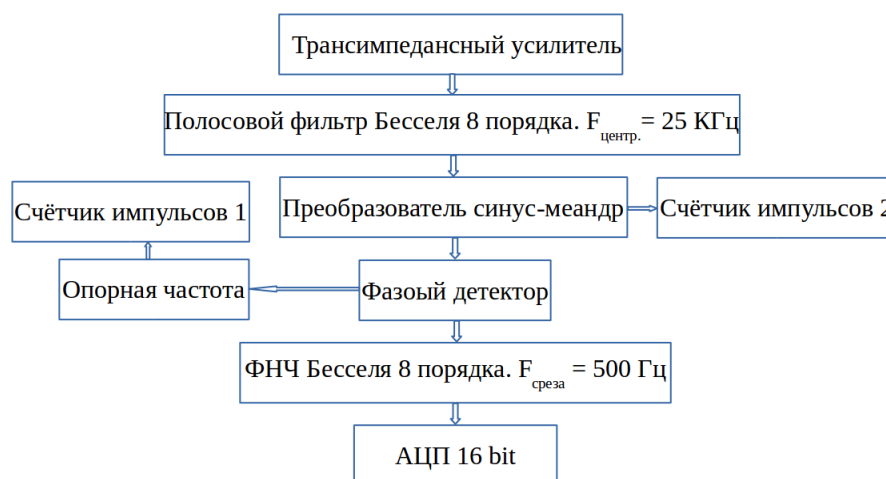


Рис. 1. Блок-схема системы регистрации деформографа.

С 2007 года в лаборатории акустических исследований ИКИР ДВО РАН проводятся геодеформационные наблюдения приповерхностных осадочных пород, т. к. они характеризуются малой прочностью, высокой пластичностью и являются наиболее доступными для изучения деформационных процессов [3]. Для регистрации изменения деформаций до 2013 года использовался лазерный деформограф-интерферометр неравноплечного типа, собранный по схеме интерферометра Майкельсона, разработанный в ТОИ ДВО РАН [1,4].

В связи с выходом из строя ключевых элементов, в лаборатории акустических исследований ИКИР разработали новый деформограф-интерферометр, собранный по той же оптической схеме и, с 2016 года, приступили к деформационным наблюдениям. Блок-схема системы регистрации деформографа показана на рис. 1.

Электрический сигнал, соответствующий изменению интенсивности света в интерференционной картине, формируется на фотодиоде, который затем преобразуется в напряжение и усиливается на трансимпедансном усилителе. Из спектра полученного электрического сигнала выделяется, несущий полезную информацию, диапазон частот с помощью полосового фильтра 8 порядка. Пик полосы пропускания соответствует частоте модуляции 25 кГц. Далее сигнал преобразуется в прямоугольный сигнал, так как амплитуда, в данном случае, не несёт полезной информации. После преобразования сигнал поступает на счётчик импульсов 2 и на вход 2 фазового детектора. Опорный сигнал, модулирующий фазовый сдвиг между опорным и измерительным лазерным лучом, поступает на счётчик импульсов 1 и на вход 1 фазового детектора. Фазовый детектор формирует сигнал, пропорциональный разности фаз в рамках 2π между опорным и интерференционным сигналом. Количество переходов сдвига фаз через 2π определяется через разность показаний счётчиков импульсов 1 и 2. Для оцифровки сигнала, сформированного фазовым детектором, используется 16-битный АЦП в паре с ФНЧ 8 порядка и частотой среза 500 Гц. Частота дискретизации АЦП составляет 1 кГц.

В результате оцифровки в компьютере формируются два файла, в одном сигнал с фазового детектора, во втором количество и направление перехода фазы через 2π . Затем, с помощью программы обработки, которая учитывает данные фазовых переходов, удаляет их из исходного сигнала с фазового детектора и формирует суточные файлы изменения абсолютных деформаций.

При интерпретации данных принято использовать безразмерные величины относительных деформаций, поэтому данные на графиках приводятся относительно измерительной базы деформографа. При анализе влияния метеорологических факторов использо-

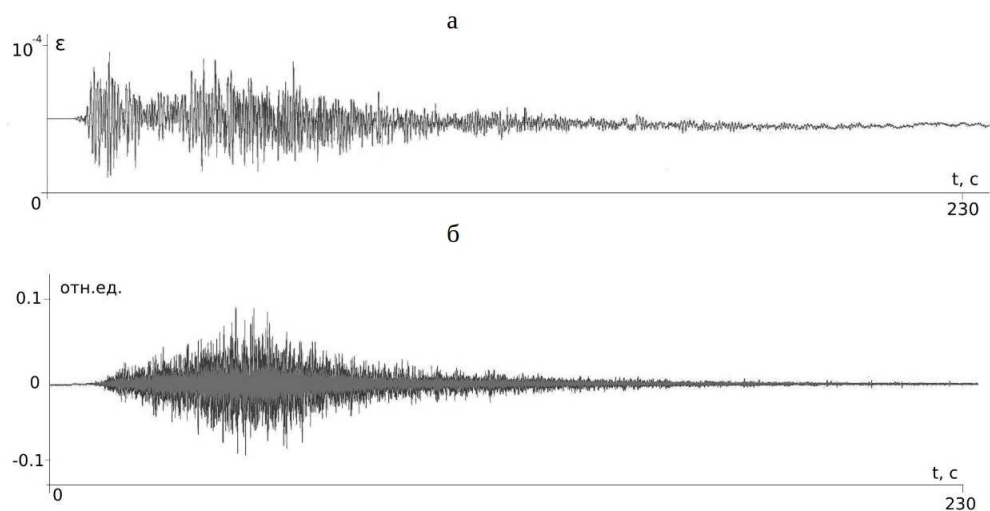


Рис. 2. Сейсмическое событие 30 января 2016 года 03:25 UT, энергетический класс 15,7, расстояние до станции 129 км. а) Деформограф, б) Геоакустическая эмиссия.

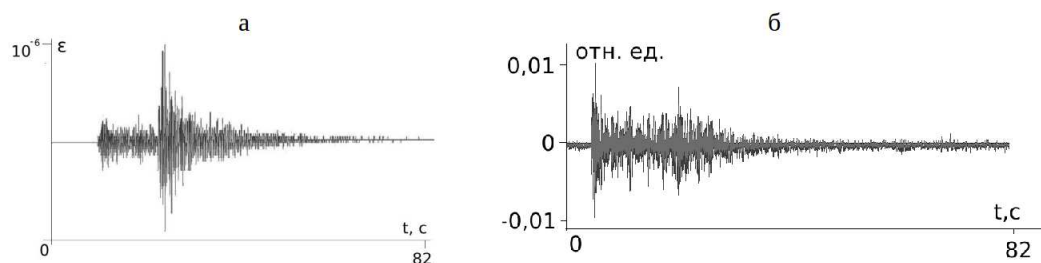


Рис. 3. Сейсмическое событие 14 марта 2016 года 21:50 UT, энергетический класс 11,2, расстояние до станции 133 км. а) Деформограф, б) Геоакустическая эмиссия.

вались данные с температурного датчика, закреплённого непосредственно на основании оптической системы деформографа, и с метеостанции, расположенной в 20 метрах от установки деформографа. Такие параметры окружающей среды как температура, влажность, давление изменяются медленно в течении суток и не оказывают влияние на быстрые деформационные процессы. Существенное воздействие на показания деформографа оказывает скорость ветра, которое выражается в усилении колебания амплитуды сигнала.

Главным направлением исследований деформаций приповерхностных осадочных пород является определение связи локального деформационного процесса и его производными, такими как генерация геоакустической эмиссии, изменения приземного электрического поля и др. В предыдущих работах [1,3,4,5] такая связь подтверждена, поэтому при планировании и изготовлении деформографа была выбрана зарекомендовавшая себя и простая в исполнении схема деформографа-интерферометра первого поколения, использующая частотно стабилизированный лазер.

На рис. 2 и 3 приведены примеры регистрации сейсмических событий разных энергетических классов, но с, примерно, одинаковым расстоянием от эпицентра до пункта наблюдений “Карымшина”. Для определения характеристик землетрясений использовались данные Камчатского филиала геофизической службы РАН.

Данные деформографа приведены с частотой записи 1 кГц и для отображения используется второй канал регистрации, в который пишется количество и направление сбросов. Сигнал геоакустической эмиссии регистрируется с частотой 44 кГц и, на рис. 2 и 3, приведена только низкочастотная её часть. Как видно из приведённых рисунков, более мощное землетрясение имеет более сильный сигнал на обеих системах измерений. Эти данные поз-

воляют оценить правильность настройки и работы системы регистрации деформографа.

В случае землетрясения 14 марта 2016 года за 10 часов до сейсмического события произошло увеличение скорости деформационного процесса, а так же амплитуды и количества акустических импульсов в частотном диапазоне 70-200 Гц с гидрофона, установленного в непосредственной близости от отражателя измерительного плеча деформографа (рис.4). В этот период отмечалось отсутствие ветра, осадков, резких колебаний атмосферного давления и температуры, что позволяет рассматривать приведённый случай, как локальный процесс накопления напряжений пород в преддверии землетрясения.

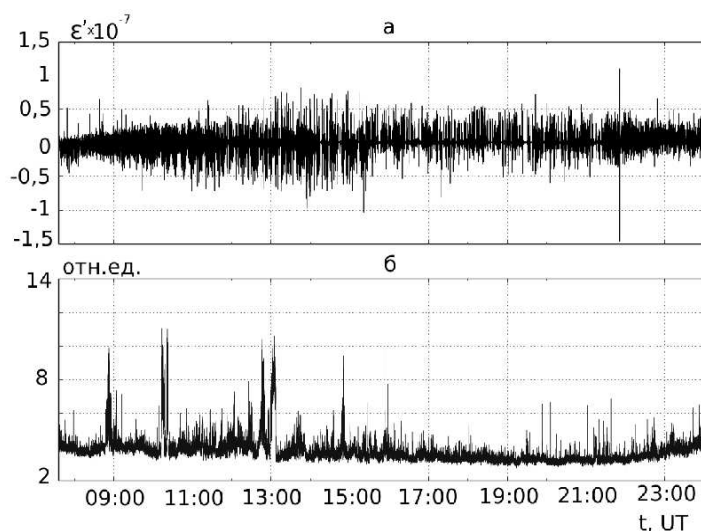


Рис. 4. Период с 7:30 до 24:00 UT 14 марта 2016 года, а) Скорость деформации, б) Геоакустическая эмиссия в диапазоне частот 70-200 Гц.

Таким образом, показано, что деформационные измерения в пункте наблюдений “Карымшина” возобновились в полном объёме, что позволило исследовать деформации на различных стадиях сейсмической активности в периоды “хорошей” погоды.

Литература

1. Dolgikh, G. I., Shvets, V. A., Chupin, V. A., Yakovenko, S. V., Kuptsov, A. V., Larionov, I. A., Marapulets, Y. V., Shevtsov, B.M., and Shirokov, O. P.: Deformation and acoustic precursors of earthquakes, *Dokl. Earth Sci.*, 413, 281–285, 2007.
2. Dolgikh, S. G., Chupin, V. A., Shvets, V. A., and Yakovenko, S. V.: Gornotaezhnoe geophysical system, *Instruments and Experimental Techniques*, 55, 298–299, 2012.
3. I. A. Larionov, Y. V. Marapulets, and B. M. Shevtsov Features of the Earth surface deformations in the Kamchatka peninsula and their relation to geoacoustic emission // *Solid Earth*, 5, P.1293–1300, 2014. doi:10.5194/se-5-1293-2014
4. Marapulets, Yu. V., Shevtsov, B. M., Larionov, I. A., Mishchenko, M. A., Shcherbina, A. O., and Solodchuk, A. A.: Geoacoustic emission response to deformation processes activation during earthquake preparation, *Russian Journal of Pacific Geology*, 6, 457–464, 2012.
5. Марапулец Ю.В., Руленко О.П., Ларионов И.А., Мищенко М.А. Одновременный отклик высокочастотной геоакустической эмиссии и атмосферного электрического поля на деформирование приповерхностных осадочных пород. // *ДАН*, 2011, Т. 440, №. 3, с. 403–406.