

Сейсмо-деформационный и акустический мониторинг геодинамических процессов высокочувствительными пространственно разнесенными приборами в сейсмоэнергоактивной и асейсмической зонах

АЛЕКСАНДРОВ Д. В.¹, ДУБРОВ М. Н.¹, ЛАРИОНОВ И. А.², МАРАПУЛЕЦ Ю. В.²,
ШЕВЦОВ Б. М.²

¹Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, г. Фрязино, Московская обл., Россия

²Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с. Паратунка, Камчатский край, Россия
e-mail: mnd139@ire216.msk.su igor@ikir.ru bshev@ikir.ru

Приводятся результаты наблюдений широкополосных геофизических процессов с помощью лазерных интерферометров-деформографов и специальной геоакустической аппаратуры. Демонстрируются примеры синхронной регистрации сейсмо-деформационных и геоакустических колебаний земной поверхности на Камчатке и в Подмосковье, а также результаты параллельного анализа полученных данных.

1. Введение

Регистрация деформационных и сейсмоакустических процессов в земной коре является эффективным методом инструментального исследования геодинамических явлений, предваряющих и сопровождающих такие мощные стихийные бедствия, как землетрясения, извержения вулканов, тайфуны, цунами и др.

Практически неограниченная широкополосность лазерно-интерферометрических измерителей деформаций позволяет проводить с их помощью сейсмо-деформационные наблюдения в широких динамическом и частотном диапазонах. По своему характеру и временным свойствам регистрируемые этими инструментами процессы разделяются на акустические, сейсмические, деформационно-барические и термоупругие деформации.

2. Описание инструментов

Деформационные измерения в сейсмоэнергоактивной зоне (Камчатская обл., с. Паратунка) выполнялись лазерным интерферометром-деформографом наземного типа с измерительным плечом длиной 32 м, построенным по трехзеркальной схеме [1]. Новый усовершенствованный вариант лазерного деформографа длиной 18 м разработан и функционирует с января 2016 года [2].

Для наблюдений в асейсмической зоне (Подмосковье) использовались лазерные интерферометры с длиной плеча от 10 м до 400 м, установленные на подземной лучеводной линии во Фрязино [3] (см. рис.1). Здесь измерения проводятся с помощью инструментов, построенных как по схеме неравноплечевого интерферометра, так и по схеме равноплечевого интерферометра Майкельсона (симметричного интерферометра, нечувствительного к коррелированным вариациям температуры и атмосферного давления). Получены и анализируются результаты измерений, выполненные аналогичными лазерными интерферометрами-деформографами длиной от 5 м до 90 м при их установке на глубине около 30 м в геофизической штольне в Обнинске.

Для изучения геоакустической эмиссии на различных стадиях развития процесса подготовки землетрясений в сейсмоэнергоактивной зоне применяется специально разработанная геоакустическая аппаратура, которая установлена в пунктах наблюдения “Карымшина” и “Микижа” (Камчатская обл.) [4]. Система измерения реализована направленными широкополосными пьезоэлектрическими гидрофонами, установленными в укрытых сверху искусственных водоёмах, расстояния между гидрофонами от 5 до 50 м, частотный

диапазон от сотен герц до первого десятка килогерц.

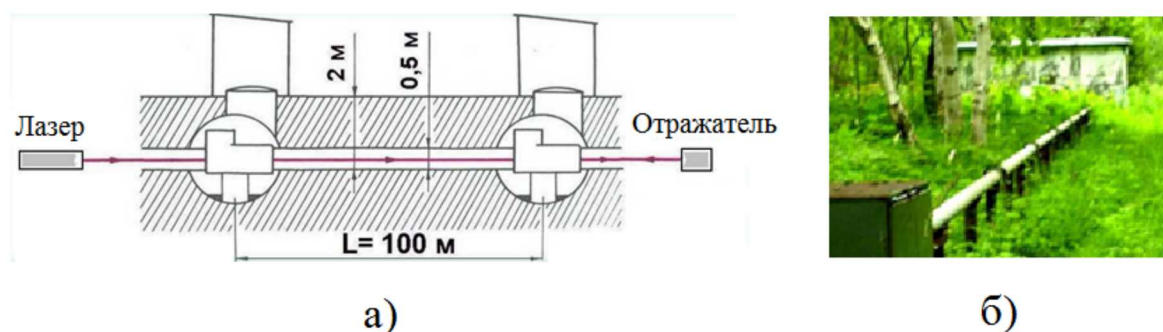


Рис. 1. Схема установки лазерных интерферометров-деформографов на подземной лучевой линии во Фрязино (а) и общий вид 32-метрового лазерного деформографа в Паратунке (б)

3. Результаты наблюдений

С помощью лазерного интерферометра-деформографа наземной установки с базой 32 м [1] выполнен цикл геофизических наблюдений сейсмических, геоакустических и деформационно-барических процессов. На рис.2 приведен пример регистрации локального сейсмического события. Землетрясение 31.07.2010 г. (энергетический класс $K=10$, время в очаге 16h 10m UTC) произошло у побережья Камчатки, расстояние от эпицентра до пункта регистрации $D=164$ км. Максимальная амплитуда записанных поверхностных сейсмических волн около 2,5 мкм.

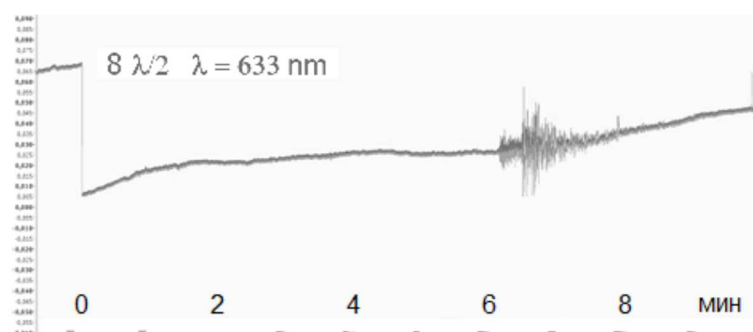


Рис. 2. Запись землетрясения 31.07.2010 г., $K=10$, база деформографа 32 м

Представлена методика и результаты наблюдений сейсмо-деформационных и геоакустических процессов глобального характера при их параллельной регистрации лазерными деформографами и геоакустическими приборами, разнесенными в пространстве на значительные расстояния (Камчатка - Подмосковье, около 6,8 тыс. км).

На рис.3 приведены фрагменты синхронной записи сигналов, зарегистрированных 18-метровым лазерным деформографом на Камчатке (а) и 100-метровым интерферометром во Фрязино (б) в период землетрясения в Индийском океане: 02 марта 2016 года с 11h 00m по 16h 00m UTC. Обои инструментами с 13h до 14h отчетливо регистрируются поверхностные сейсмические волны, вызванные этим землетрясением магнитудой $M_s=7,6$ (Юго-западнее Суматры, Индонезия, время в очаге по данным геофизической обсерватории в Обнинске $t_0=12h49m45s$). Различие в зарегистрированных сейсмо-деформационных сигналах обусловлено разными величинами эпицентральных расстояний, азимутальными ориентациями инструментов и локальными условиями. Время прихода поверхностных волн на каждый из пунктов регистрации сдвинуто относительно t_0 на 30-40 минут, что соответствует скоростям распространения этих волн 2,7-3,6 км/с.

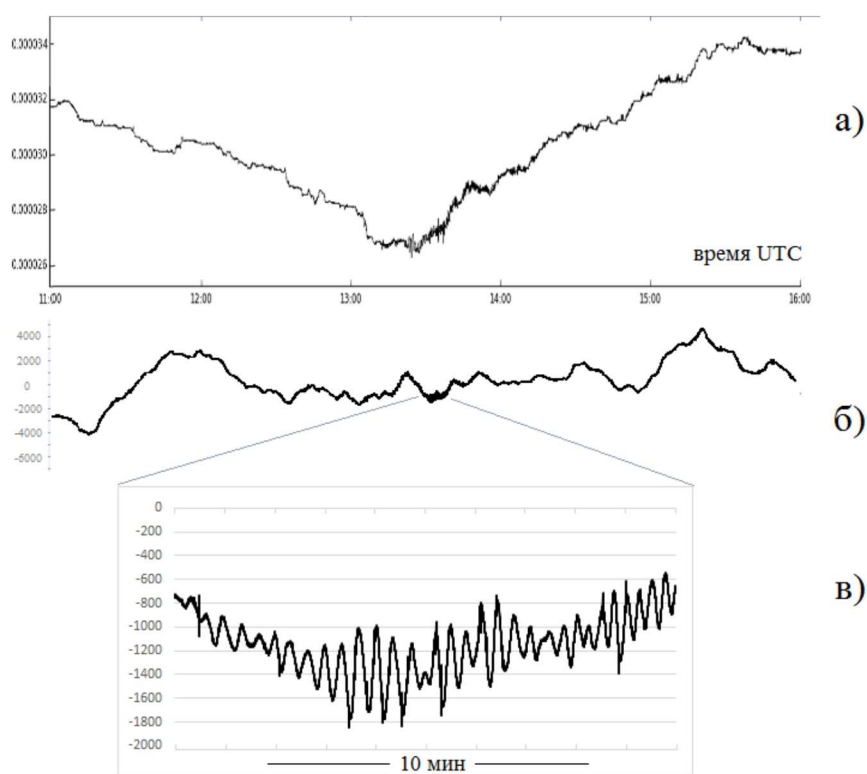


Рис. 3. Сейсмо-деформационные процессы, сопровождающие землетрясение Юго-западнее Суматры 02.03.2016 г., $M_s=7,6$, зарегистрированные лазерными деформографами на Камчатке (а) и в Подмоскovie (б); внизу показан 10-минутный фрагмент регистрации поверхностных сейсмических волн (в)

Следует подчеркнуть, что на обеих записях, кроме случайных деформационно-барических и термоупругих вариаций, отмечаются также и коррелированные составляющие зарегистрированных деформаций, которые могут представлять интерес для исследования взаимодействия глобальных геофизических процессов в земной коре, атмосфере и Мировом океане. Развитие процесса подготовки рассматриваемого землетрясения сопровождалось интенсивной циклонической активностью в Южной части Тихого океана: 7–25 февраля мощный тропический циклон наивысшей категории 5 SSHWS перемещался в западном направлении и 26.02, войдя в зону Австралийского региона, разрешился ливневыми осадками, прекратив свое существование 03 марта 2016 г.

Другой пример параллельной регистрации процессов глобального характера пространственно разнесенными лазерными деформографами (Подмоскovie) и геоакустическими приборами (Камчатка) показан на рис.4. Демонстрируются результаты анализа сигналов геоакустической эмиссии (рис.4а,б) и микросейсмических колебаний земной поверхности (рис.4в) в течение четырех суток, предшествующих сильнейшему землетрясению 2015 года: 16 сентября, побережье Центрального Чили, $M_s=8,3$ ($t_0=22h54m$). На двух верхних диаграммах приведены фрагменты непрерывной регистрации геоакустических сигналов при одновременном осуществлении их цифровой фильтрации в диапазонах частот: 2,5–6,5 кГц (рис.4а, пункт наблюдения “Микижа”) и 7–11 кГц (рис.4б, пункт наблюдения “Карымшина”). Временное разрешение при осреднении составляет около 1 с. В нижнем ряду (рис.4в) представлена последовательность спектрально-временных СВАН-диаграмм для микросейсмических колебаний земной поверхности, зарегистрированных в этот же период 100-метровым лазерным деформографом во Фрязино. Анализируемый диапазон частот 0,5–2,5 Гц, временное разрешение для каждой из приведенных СВАН-диаграмм меньше 1 мин. Наблюдаются значимый рост геоакустических и перестройка микросейсмических

сигналов за 30-50 час до землетрясения 16.09.2015 г.

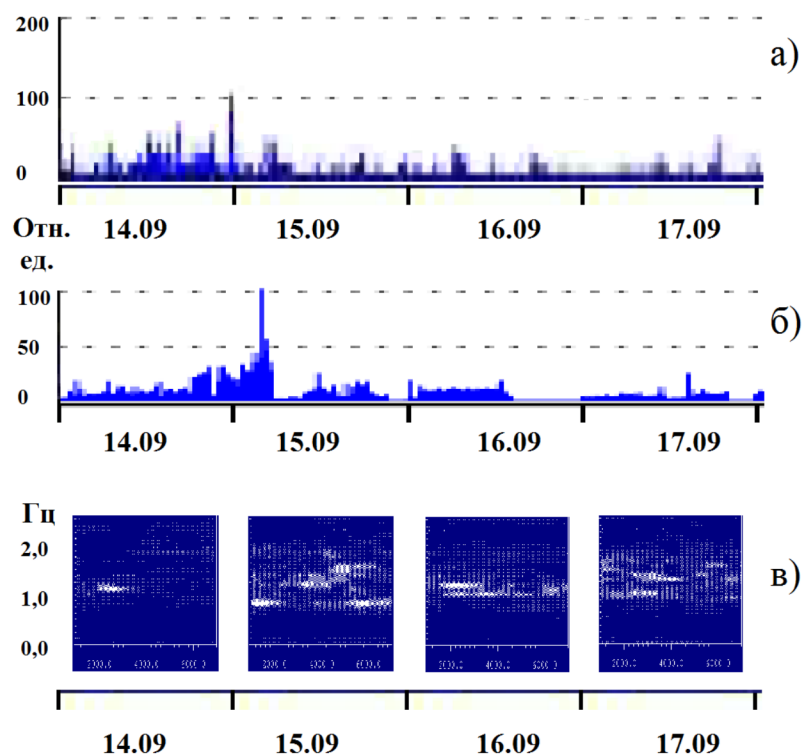


Рис. 4. Сопоставление геоакустических сигналов: а), б) – Камчатка, в) – Подмоскowie

В то же время интенсивные геомагнитные возмущения 14-15.09 величиной 80 -100 нТ отмечены станциями Восточного и Западного полушария ($K=5$, www.intermagnet.org), а также геостационарными спутниками GOES NOAA (ftp.swpc.noaa.gov).

4. Выводы.

Проведенные исследования показывают возможность применения разработанных методов для выделения глобальных геофизических эффектов, связанных с подготовкой сильных землетрясений $M>7$, прохождением мощных тропических ураганов – тайфунов, цунами, и других явлений на поверхности Земли и в околоземном пространстве.

Литература

1. Александров Д. В., Кравцов В. В., Ларионов И.А. Предварительные результаты испытаний трехзеркального лазерного интерферометра на Камчатском геополигоне, Труды 23-Международной конференции "Лазеры, измерения, информация 5-6 июня 2013 г, Санкт-Петербург.– 2013.– С.105.
2. Ларионов И.А. Непомнящий Ю.А. Особенности геодеформационных измерений приповерхностных осадочных пород, "Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений", 29 августа – 2 сентября 2016 г.
3. Дубров М.Н., Александров Д.В., Кравцов В.В. Лазерные интерферометры-деформографы: новые разработки и применение // Электронный журнал "Исследовано в России".– 2013.– 025.– С.354-359.– URL http://www.info.jinr.ru/invest_in_Russia.html (дата обращения: 25.07.2015)
4. Марапулец Ю.В., Шевцов Б.М., Ларионов И.А., Мищенко М.А., Щербина А.О., Соладчук А.А. Отклик геоакустической эмиссии на активизацию деформационных процессов при подготовке землетрясений // Тихоокеанская геология.– 2012.– Т.31.– С.59-67.