

Результаты испытаний трехзеркального лазерного интерферометра на Камчатском геополигоне

АЛЕКСАНДРОВ Д. В.¹, ДУБРОВ М. Н.¹, ЛАРИОНОВ И. А.²

¹ Филиал института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН г. Фрязино
Московская обл., Россия

² Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
с. Паратунка, Камчатский край, Россия
email: diman1234@list.ru mnd139@ire216.msk.su igor@ikir.ru

Актуальность изучения деформаций осадочных пород обусловлена их важной ролью во многих геофизических процессах, которые рассматриваются в сейсмологии, океанологии, горном деле и т.д. Уникально широкая полоса частот лазерных интерферометрических измерителей деформации позволяет использовать эти инструменты при наблюдениях большого класса геофизических процессов происходящих в энергоактивных зонах [1,2]. Среди таких процессов геоакустическая эмиссия представляет особый интерес для исследования и разработки технологии обнаружения опасных геофизических явлений. В данной работе рассматривается применение лазерных интерферометров-деформографов для регистрации колебаний земной поверхности в сейсмическом и акустическом диапазонах частот. Выполняется сопоставление результатов полученных данных с деформографа и других датчиков, установленных в энергоактивной зоне. Измерительное плечо деформографа 32м. В ходе экспериментальных испытаний лазерного деформографа получены записи ряда региональных сейсмических событий. Выполнена проверка воздействия техногенных факторов на результаты регистрации деформографа. Наблюдения проводились в ИКИР ДВО РАН с. Паратунка Камчатского края. Создаваемые варианты лазерных деформографов могут быть эффективными при решении различных задач: геологические, геофизические и экологические службы, строительство, инженерная инфраструктура, и др. С их помощью также могут проводиться оценки фоновых процессов в природных условиях, включая промышленные и строительные объекты, подземные и горные выработки, изыскательные экспедиции и полевые пункты наблюдения.

Для данных исследований применяется комплекс геоакустической аппаратуры, разработанный в ИКИР [3], который дополнен лазерным интерферометром-деформографом, разработанным в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.

Лазерный интерферометр-деформограф наземного типа построен по трехзеркальной схеме. Измерительное плечо длиной 32 м защищено воздушнонаполненным трубопроводом, собранным из 8 секций асбоцементных труб и установленным на металлических опорах высотой около 1 м.

Данные, получаемые с использованием оцифровки выходного сигнала, представляют собой массив целых чисел в диапазоне от 0 до $2N$, отражающих зависимость перемещений или деформаций исследуемого объекта от времени. Здесь N – разрядность применяемого АЦП ($N = 12, 14, 16$), а частота дискретизации по времени задается оператором ЭВМ. При достижении сигналом уровня, соответствующего границам диапазона $0-2N$, механизм системы регистрации интерферометра осуществляет автоматическое переключение аналогового сигнала в исходное (начальное) положение N . Амплитуда возникающего при этом на записи скачка кратна минимальной дискретной величине $\lambda/320$, где $\lambda=633$ нм длина волны используемого лазера.

При выполнении геоакустических измерений, например, в диапазоне частот 10-1000 Гц суточными колебаниями температуры и атмосферного давления, можно пренебречь. Однако, оказалось, что при выполнении длительных наблюдений на стабильность положения лазерного пучка влияют конвективные потоки воздуха в трубопроводе, возникающие

вследствие суточных перепадов температуры и атмосферного давления. Для их устранения на входном торце трубопровода был установлен оптический иллюминатор в виде плоскопараллельной пластины. Такая модернизация деформографа позволила существенно повысить его стабильность и увеличить длительность непрерывной записи регистрируемого сигнала. Устройство регистрации деформографа работает в диапазоне $\pm 8 \lambda/2$ ($\pm 2,5$ мкм). В этом режиме каждому вертикальному переносу начала отсчета системы регистрации соответствует смещение величиной 2,5 мкм.

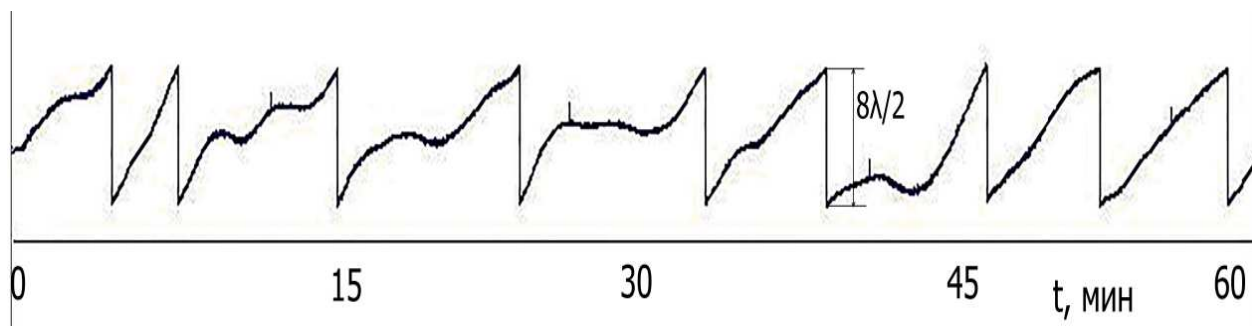


Рис. 1

В ходе экспериментальных испытаний лазерного деформографа получены записи ряда региональных сейсмических событий. На рис.2а приведена запись деформаций земной поверхности во время землетрясения, которое произошло 31.07.2010 г. 16h10m GMT у побережья Камчатки.

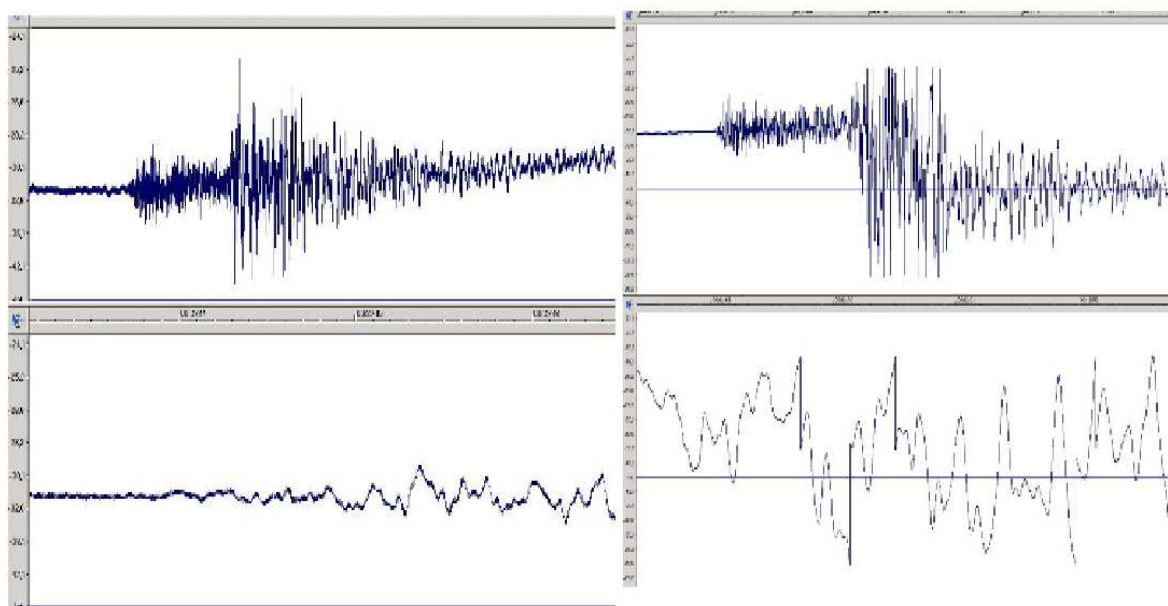


Рис. 2

Энергетический класс землетрясения $K=10$, расстояние от эпицентра до пункта регистрации $D=164$ км. Лазерным деформографом хорошо записаны вступления продольных и поперечных сейсмических волн с периодами от 0,1-0,4 с до 2-3 с и с амплитудами, не превышающими 2,5 мкм. Предваряющие и сопутствующие землетрясению волны с периодами 30-40 минут вызваны атмосферными эффектами и могут быть отнесены к предвестниковым явлениям.

Пример записи более мощного землетрясения (энергетический класс $K=10,6$) приведен на рис.2б. Амплитуды поверхностных волн превышают 2,5 мкм, поэтому на записи

присутствуют вертикальные переносы начала отсчета (см. нижний фрагмент записи на приведенном рисунке).

Разрывы записи, возникающие в моменты переноса начала отсчета, устраняются специальной программой в процессе обработки сигналов деформографа.

Для организации сбора геоакустических данных используется измерительный комплекс ИКИР ДВО РАН, установленный на дне озера Микижа, который состоит из 4-х гидрофонов, ориентированных по сторонам света. Особенностью экспериментов является использование для регистрации эмиссии широкополосных пьезокерамических гидрофонов, установленных в воде у дна естественных и искусственных водоемов. Применение приемников такого типа позволяет по сравнению со стандартными геофонами расширить частотный диапазон регистрации до 0.1 Гц-11 кГц.

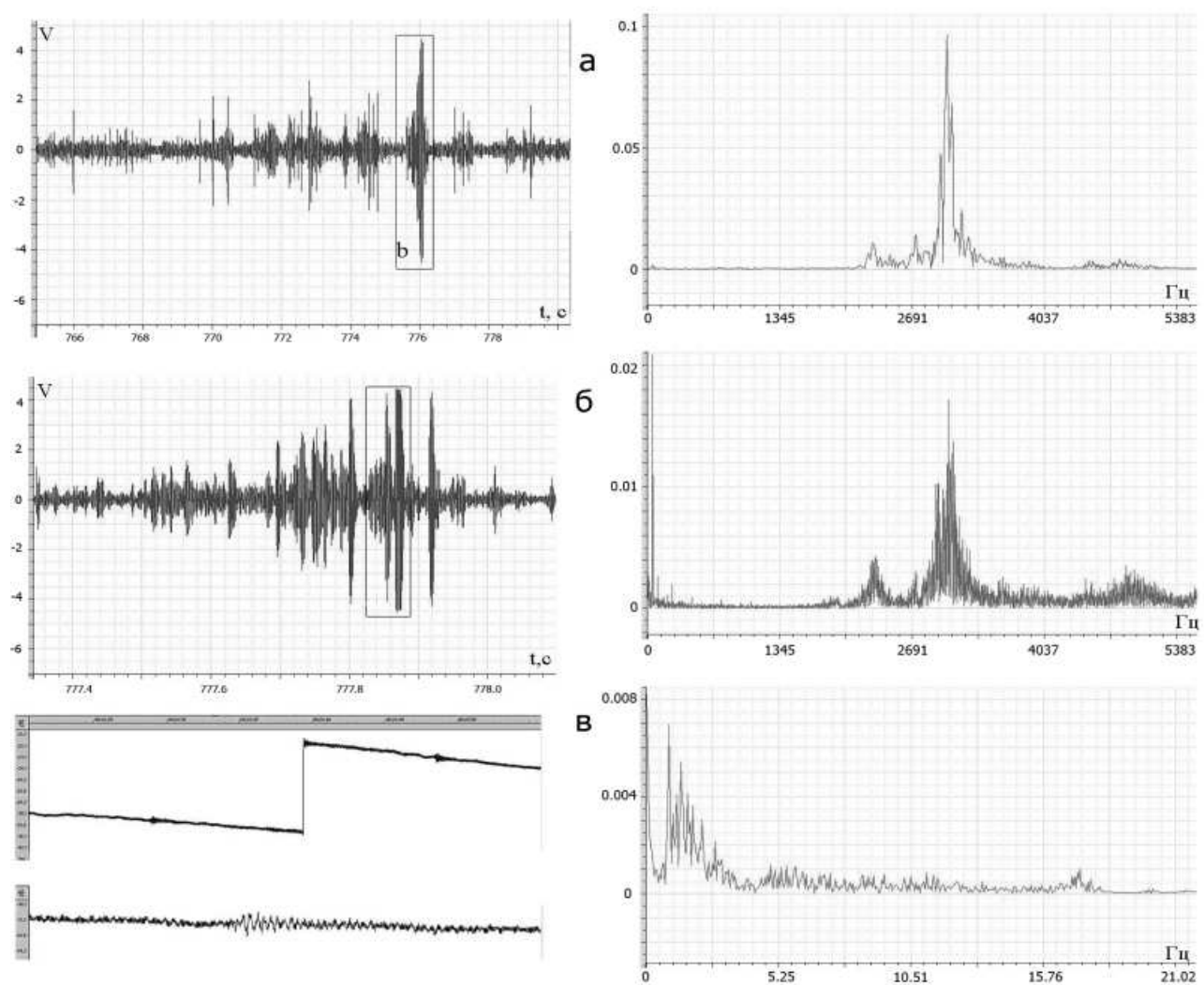


Рис. 3

На рис 3(а,б) слева изображены сигналы акустического приемника и справа - их спектры, а на рис 3в соответственно - сигналы и спектры деформографа.

Акустический сигнал рис 3а длительностью 18 секунд зарегистрирован на станции Микижа, а на рис 3б представлен его увеличенный фрагмент длительностью 0,7 секунды. Рис 3в демонстрирует результаты проведенных испытаний проверки воздействия техногенных факторов на характер регистрации деформографа. Движение автотранспортных средств по шоссе на расстоянии около 300 м от деформографа вызывает колебания грунта на частотах 17-19 Гц, амплитуда регистрируемых горизонтальных смещений грунта дости-

гает $dL = 0,2-0,3$ мкм, что для относительных деформаций составляет величину порядка $dL/L = 10^{-8}$. Примерно такие же амплитудно-частотные параметры имеют сигналы, вызываемые механическими воздействиями ударного характера с усилием десятки килограмм на грунт на расстоянии порядка 40 м от деформографа (на рис 3в показаны стрелкой). Спектр, приведенный на рис 3в справа, энергия которого сосредоточена в диапазоне частот 1-2 Гц, относится к иному источнику сейсмического возмущения.

Проведена модернизация лазерного интерферометра-деформографа, установленного на экспериментальной базе ИКИР ДВО РАН (Камчатская обл., с. Паратунка). Деформограф предназначен для исследования высокочастотных сейсмических и акустических процессов в энергоактивном регионе Камчатки. Данный регион характеризуется повышенной сейсмичностью, наличием геотермальных источников и находится вблизи зоны активного вулканизма. В ходе экспериментальных испытаний лазерного деформографа получены записи ряда региональных сейсмических событий, выполнена проверка воздействия техногенных факторов на результаты регистрации деформографа. Движение автотранспортных средств по шоссе на расстоянии около 300 м от деформографа вызывает колебания грунта на частотах 17-19 Гц, амплитуда регистрируемых горизонтальных смещений грунта достигает $dL = 0,2-0,3$ мкм, что для относительных деформаций составляет величину порядка $dL/L = 10^{-8}$. Примерно такие же амплитудно-частотные параметры имеют сигналы, вызываемые механическими воздействиями ударного характера с усилием десятки килограмм на грунт на расстоянии порядка 40 м от деформографа.

Литература

1. Д.В. Александров, М.Н. Дубров, И.А. Ларионов “Применение лазерных интерферометров-деформографов для регистрации геофизических процессов в акустическом диапазоне частот” сборник докладов 5 международной конференции “СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ И ФИЗИКА ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ”, Петропавловск-Камчатский, 2010, с.312-315.
2. М.Н. Дубров, Д.В. Александров Проведение испытаний мобильного лазерного деформографа на морской экспедиционной станции м. Шульца. Пятый Всероссийский симпозиум “Физика геосфер”. Материалы докладов. Владивосток, 3-7 сентября 2007 г. с. 65-70
3. Маратулец Ю.В., Шевцов Б.М., Ларионов И.А., Мищенко М.А., Щербина А.О., Солодчук А.А. Отклик геоакустической эмиссии на активизацию деформационных процессов при подготовке землетрясений, // Тихоокеанская Геология, 2012г. т.31, с. 59-67