

ПРИМЕНЕНИЕ МОБИЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО ДЕФОРМОГРАФА

С.Г.Долгих, к.ф.-м.н, sdolgikh@poi.dvo.ru;
Г.И.Долгих, чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н.;
В.А.Чупин, к.ф.-м.н., chupin@poi.dvo.ru;
С.В.Яковенко, к.т.н.;
ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт
им.В.И.Ильичева ДВО РАН, Владивосток,
www.poi.dvo.ru

Лазерные деформографы применяют для высокоточной регистрации геофизических деформационных процессов. С целью обеспечения простоты транспортировки оборудования в исследуемый район и его установки разработана мобильная модификация прибора. Представленные в статье результаты сейсмических исследований позволяют говорить о высокой производительности модифицированного мобильного лазерного деформографа.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Тихоокеанском океанологическом институте имени В.И.Ильичева ДВО РАН (ТОИ ДВО РАН) для исследований используют различные интерферометры, позволяющие проводить измерения низкочастотных и сверхнизкочастотных вариаций микросмещений фонового уровня [1,2]. Однако большинство из этих приборов громоздки, сложны в установке и требуют при эксплуатации постоянного контроля оператора [3]. Для устранения этих проблем был сконструирован мобильный лазерный деформограф на основе неравноплечего интерферометра Майкельсона с применением современных лазерно-интерференционных методов [4]. Прибор включает в себя электронную систему регистрации, которая фиксирует изменение разности длин плеч интерферометра. Задача деформографа – обеспечить мобильность работы при сохранении высокой точности измерения низкочастотных и сверхнизкочастотных вариаций микро-

USE OF MOBILE LASER DEFORMOGRAPH

S.G.Dolgikh, Candidate of Physics and Mathematics, sdolgikh@poi.dvo.ru;
G.I.Dolgikh, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences;
V.A.Chupin, Candidate of Physics and Mathematics, chupin@poi.dvo.ru;
S.V.Yakovenko, Candidate of Engineering;
V.I.Ilichev
Pacific Oceanological Institute of Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, www.poi.dvo.ru

Laser deformographs are used for high-precision recording of geophysical deformation processes. In order to provide easy equipment transportation and installation in the studied area, the mobile modification of device is developed. The results of seismic studies, which allow speaking of high productivity of mobile laser deformograph, are given below.

INTRODUCTION

Currently, different interferometers are used at V.I.Ilichev Pacific Oceanological Institute of Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (POI FEB RAS) for studies in order to measure low-frequency and super low-frequency variations of microdisplacements of background level [1, 2]. However, most of them are bulky, complex in installation and they require constant control during operation [3]. In order to eliminate these problems, the mobile laser deformograph based on unequal-arm Michelson interferometer was designed using up-to-date laser-interferometer methods [4]. The device includes electronic recording system, which records the variation of difference of interferometer arm lengths. The task of deformograph consists in the operation mobility with retaining of high measurement precision of low-frequency and super low-frequency variations of microdisplacements of background level. The device is distinguished by its compactness, easy adjustment, reliability, capability of autonomous operation during long periods of time with low energy consumption and low cost.

смещений фонового уровня. Прибор отличается компактностью, легкостью настройки, надёжностью, возможностью работать автономно продолжительное время при малых затратах потребляемой энергии, и при этом небольшой стоимостью.

УСТРОЙСТВО МОБИЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО ДЕФОРМОГРАФА

Оптическая часть мобильного лазерного деформографа разработана на основе неравноплечего интерферометра Майкельсона и похожа на соответствующий узел деформографов, созданных ранее [5, 6]. В качестве источника света используется частотно-стабилизированный лазер производства Melles Griot, долговременная стабильность которого составляет 10^{-9} – 10^{-10} . Весь путь луча лазера между отражателем и интерференционным узлом расположен в световоде из полипропиленовых труб. Отражатель смонтирован на упругом основании. Для проведения измерений используют поляризованный лазерный пучок, который затем делится на два пучка. Один из них проходит по измеряемому плечу, другой – по эталонному. Измерительная часть луча идет по световоду, попадает на отражатель и возвращается обратно на полупрозрачную пластину. Эталонная часть луча проходит через юстировочный узел и возвращается на полупрозрачную пластину. Юстировочный узел состоит из зеркал, закрепленных на пьезокерамических основаниях. Затем эти два луча совмещают и получают интерференционную картину, изменения которой оценивают посредством фотоэлектронной аппаратуры. Пятно с интерференционной картиной анализируется с помощью фотодиода системы регистрации. Задачей данного прибора является регистрация вариаций микродеформаций земной коры в частотном диапазоне от 0 (условно) до 10 000 Гц с точностью 0,3 нм в практически неограниченном динамическом диапазоне.

ПРИМЕНЕНИЕ МОБИЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО ДЕФОРМОГРАФА

Для измерения фонового уровня геофизических шумов и определения основных параметров резонансных объектов в звуковом и инфразвуковом диапазонах недалеко от г. Находка был установлен мобильный

ARRANGEMENT OF MOBILE LASER DEFORMOGRAPH

Optical part of mobile laser deformograph is developed on the basis of unequal-arm Michelson interferometer, and it is similar to the relevant unit of deformograph designed earlier [5, 6]. Frequency-stabilized laser produced by Melles Griot is used in the capacity of light source; its long-term stability is equal to 10^{-9} – 10^{-10} . The whole travel path of laser beam between the reflector and interference unit is located in light guide of polypropylene pipes. The reflector is mounted on elastic foundation. Polarized laser beam, which is later divided into two beams, is used for the measurements. One of the divided beams propagates along the measured arm, and the second beam propagates along the reference arm. The measuring part of beam propagates in light guide, gets on reflector and returns back to semitransparent plate. The reference part of beam propagates through the adjustment unit and returns back to semitransparent plate. Adjustment unit consists of the mirrors fixed on piezoceramic bedding. Then, these two beams are combined and the interference pattern is obtained; its variations are estimated using the photoelectronic equipment. The spot with interference pattern is analyzed using photodiode of recording system. The task of this device consists in recording of variations of microdeformations of earth crust within the frequency range from 0 (provisionally) to 10 000 Hz with the precision of 0.3 nm within practically unlimited range.

USE OF MOBILE LASER DEFORMOGRAPH

In order to measure the background level of geophysical noises and determine the main



Рис.1. Карта сервиса "Планета Земля" с точкой установки лазерного деформографа
Fig. 1. Service map "Planet Earth" with the point of laser deformograph installation

лазерный деформограф. На рис.1 приведена карта сервиса "Планета Земля" с точкой установки прибора. Координаты установки измерительной скамьи деформографа – 42°52,560'N, 132°48,643'E. Координаты отражателя – 42°52,562'N, 132°48,639'E.

Деформограф был установлен на поверхности Земли с заглублением фундамента оптической скамьи до скальной породы. Конструкция прибора была изолирована от воздействия окружающей среды. На рис.2 приведен общий рабочий вид установки. В деформограф была встроена цифровая система регистрации, являющаяся собственной разработкой ТОИ ДВО РАН. Данный модуль относится к системам экстремального регулирования и управляет работой интерферометров, поддерживая интерференционную картину на максимуме интенсивности с помощью пьезокерамических элементов в цепи обратной связи. При достижении края динамического диапазона, обусловленного циклической сменой экстремумов интерференционной картины, система регистрации формирует импульс сброса, обнуляя подаваемое на пьезокерамику напряжение. Таким образом достигается расширение динамического диапазона прибора. Величина подаваемого напряжения на пьезокерамику и количество импульсов сброса в конкретный момент времени соответствуют изменению оптической разности хода в плечах интерферометров. При этом сама разность хода линейно связана со смещением земной коры. Эта информация в цифровом виде по линии связи поступает в компьютер, где записывается на жесткий диск с заданной частотой дискретизации.

Принцип измерения разности хода на базе лазерных деформографов построен так же, как и у деформографов, обеспечивающих подобную или лучшую чувствительность. При этом хорошая стабильность температуры, давления, влажности, учет их вариаций в измерениях, небольшой диапазон подаваемых напряжений на пьезокерамику (до 198 В) позволяют исключить ошибки измерений, возникающие из-за таких паразитных явлений, как крип и гистерезис пьезокерамики при работе деформографов в диапазоне от 0 (условно) до 1000 Гц.

В ходе работы была сделана запись микродеформаций земной коры длительностью



Рис.2. Лазерный деформограф в рабочем положении
Fig. 2. Laser deformograph in operational position

parameters of resonance objects within audible and infra-audible ranges the mobile laser deformograph was installed near Nakhodka. In Fig. 1 the service map "Planet Earth" is given with the point of device installation. Coordinates of the installation of deformograph measuring bench – 42°52,560'N, 132°48,643'E. Coordinates of reflector – 42°52,562'N, 132°48,639'E.

Deformograph was installed on the surface of Earth with the penetration of optical bench bedding down to hard rock. Device construction is isolated from the environmental impact. The general operational view of device is given in Fig. 2. The digital system of recording was built-in into the deformograph; this system was developed by POI FEB RAS. This module refers to the systems of optimizing control and operates the interferometers supporting the interference pattern in intensity maximum with the help of piezoceramic elements in the feedback circuit. When reaching the limit of dynamic range, which is stipulated by the cyclic change of extremums of interference pattern, recording system generates the reset pulse reducing to zero the voltage, which is supplied to piezoceramics. Thus, the extension of device dynamic range is achieved. The value of voltage supplied to piezoceramics and number of reset pulses at certain moment of

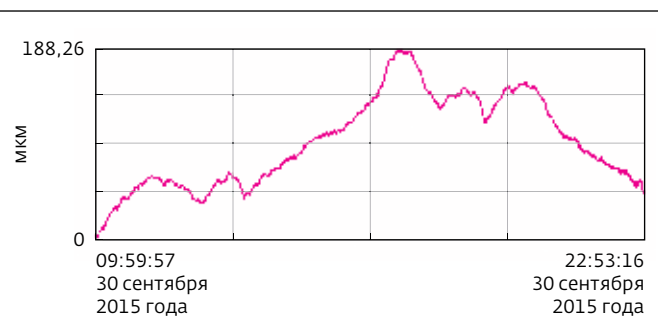


Рис.3. Фрагмент записи мобильного лазерного деформографа
Fig. 3. Record fragment of mobile laser deformograph

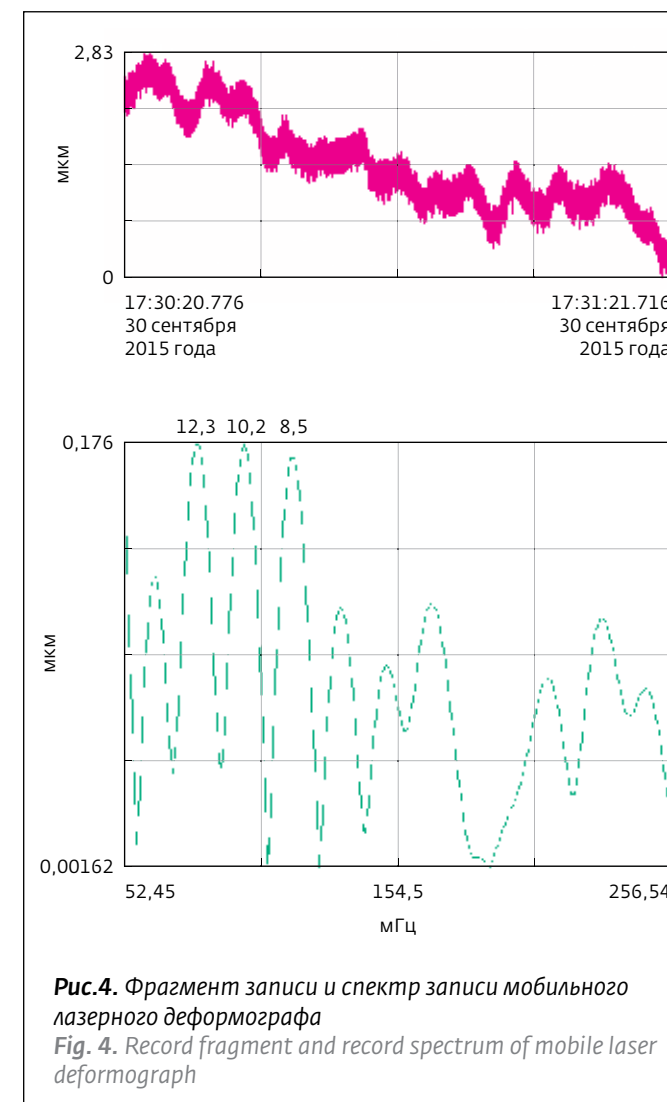


Рис.4. Фрагмент записи и спектр записи мобильного лазерного деформографа
Fig. 4. Record fragment and record spectrum of mobile laser deformograph

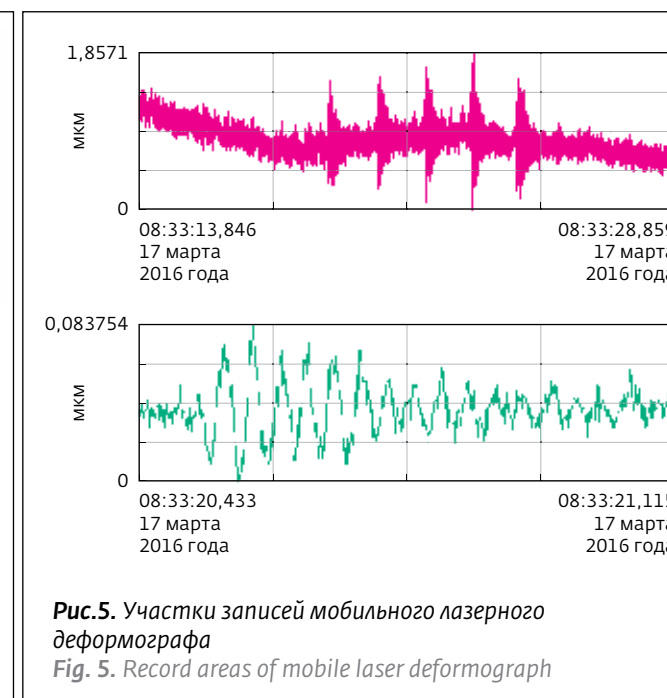


Рис.5. Участки записей мобильного лазерного деформографа
Fig. 5. Record areas of mobile laser deformograph

time correspond to the variation of optical path difference in interferometer arms. At the same time, the path difference has linear correlation with the displacement of earth crust. This information is sent to computer in digital form through communication line and recorded to hard disk with the set sampling frequency.

The principle of measurement of path difference on the basis of laser deformographs is the same as in deformographs, which provide similar or better sensitivity. Good stability of temperature, pressure,

более трех суток. На рис.3 представлен фрагмент записи лазерного деформографа длительностью около 14 часов.

Из записи (рис.4) выделены микросейсмические колебания с периодами около 8, 10 и 12 с, которые соответствуют ветровому волнению Японского моря в бухте Восток. За время сбора данных над местом установки лазерного деформографа проходил циклон, сопровождающийся сильным ветром и дождем. В это время на записи лазерного деформографа появились колебания с периодом 22,5 с, которые были вызваны сильным ветровым давлением.

При проведении эксперимента с динамическими воздействиями типа удар на грунт в районе проведения измерений были получены записи соответствующих колебательных процессов. Эксперимент был проведен с ударными нагрузками двух типов: многократные стуки (5 ударов с паузой около 1 с на дистанциях 30–100 м) и мощные разовые удары по грунту в местах выхода на поверхность скальной породы. Для того чтобы исключить колебательную реакцию компонентов измерительного комплекса на возмущения, последние проводились на удалении более 100 м от оборудования. На рис.5 приведен пример участка записи, где отражены результаты эксперимента с пятикратным повторением. Каждое из воздействий представляет собой затухающий во времени процесс.

Расчеты добротности для многократных ударных воздействий приведены в таблице. Анализ центральной частоты затухающих колебаний процесса показал, что она совпадает с частотой колебаний, возбуждаемой при естественных процессах, т.е. 29,3 Гц, что говорит о возбуждении того же резонатора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе современных лазерно-интерференционных методов сконструирован мобильный лазерный деформограф, который хорошо проявил себя при сейсмических исследованиях. В ходе исследований недалеко от города Находка удалось зарегистрировать естественные и искусственные процессы звукового и инфразвукового диапазонов на фоновом уровне.

Работа выполнена при частичной поддержке РНФ (соглашение 14-17-00041).

humidity, taking into account their variations in measurements, short range of voltages supplied to piezoceramics (up to 198 V) allow eliminating the measurement errors, which occur due to such parasitics as piezoceramics creep and hysteresis during the deformograph operation within the range from 0 (provisionally) to 1000 hz.

In the course of works, the record of earth crust microdeformations with the duration of more than 3 days was made. The record fragment of laser deformograph with the duration of about 14 h is given in Fig. 3.

The microseismic vibrations with the periods of about 8, 10 and 12 sec. were allocated from the record (Fig. 4); they correspond to the wind-driven waves of the Sea of Japan in Vostok Bay. During the data accumulation there was a cyclone accompanied by strong wind and rain above the place of laser deformograph installation. During this time the vibrations with the period of 22.5 sec. were recorded by laser deformograph; these vibrations were caused by heavy wind pressure.

When carrying out the experiment with dynamic impacts of "stroke on ground" type in the area of measurements, the records of the relevant vibration processes were obtained. The experiment was carried out with the impact loads of two types: repeated strokes (5 strokes with the pause of about 1 sec. at the distances of 30–100 m) and hard single strokes on the ground in the places of hard rock exposure. In order

Расчеты добротности
Calculations of quality factor Q Serial number

Номер серии	Δt	A_1	A_2	f	k	Q
1	0,274	0,044	0,021	29,3	2,82	32,64
	0,307	0,062	0,018	29,3	4,00	23,02
	0,378	0,047	0,015	29,3	3,01	30,54
2	0,274	0,035	0,014	29,3	3,34	27,53
	0,342	0,049	0,010	29,3	4,59	20,04
3	0,343	0,060	0,010	29,3	5,22	17,62
	0,451	0,036	0,011	29,3	2,68	34,31
	0,382	0,040	0,014	29,3	2,75	33,42

ЛИТЕРАТУРА

1. Долгих Г.И., Долгих С.Г., Овчаренко В.В., Чупин В.А., Швец В.А., Яковенко С.В. Лазерный деформограф с точностью на уровне пикометров. – Приборы и техника эксперимента, 2013, № 2, с.138–139.
2. Давыдов А.В., Долгих Г.И. Регистрация сверхнизкочастотных колебаний 52,5-м лазерным деформографом. – Физика Земли, 1995, № 3, с.64–67.
3. Долгих Г.И. Лазерно-интерференционный комплекс. – Сейсмические приборы, 2003, т. 39, с.13–27.
4. Долгих С.Г. Мобильный лазерный интерферометр. – Приборы и техника эксперимента, 2010, № 1, с.174–175.
5. Долгих Г.И., Валентин Д.И., Долгих С.Г., Ковалёв С.Н., Корень И.А., Овчаренко В.В., Фищенко В.К. Применение лазерных деформографов вертикальной и горизонтальной ориентаций в геофизических исследованиях переходных зон. – Физика Земли, 2002, № 8, с.69–73.
6. Долгих Г.И. Принципы построения однокоординатных лазерных деформографов. – Письма в ЖТФ, 2011, т. 37, вып.5, с.24–30.

to eliminate the vibration reaction of components of measuring device to the impacts, the single strokes were performed at the distance of more than 100 m from equipment. The example of record area where the results of experiment with five-time repetition are reflected is given in Fig. 5. Each impact represents the process which damps in time.

Calculations of quality factor for repeated impacts are given in the table. Analysis of the central frequency of damped process vibrations showed that it coincides with the vibrations frequency stimulated during natural processes, on other words at 29.3 Hz, and it indicates the excitation of the same resonator.

CONCLUSION

Mobile laser deformograph is designed on the basis of modern laser-interference methods; it operated well during seismic studies. During the studies, which were performed near Nakhodka, the natural and stimulated processes of audible and infra-audible ranges at background level were recorded.

The works were performed with partial support of the Russian Science Foundation (agreement 14-17-00041).