УДК 551.254:534.23:550.344

АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ И ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОВРЕМЕННЫХ ГЕОДЕФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ В ПУНКТЕ НАБЛЮДЕНИЙ «КАРЫМШИНА»*

М. А. Мищенко, Ю. В. Марапулец, И. А. Ларионов

Институт космofизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
684034, Камчатский край, с.Паратунка, ул. Мирная, 7

E-mail: micle@ikir.ru

На Камчатке в измерительном пункте «Карымшина» в период с 2016 г. по настоящее время проводятся одновременные геодеформационные наблюдения. Для их проведения установлены лазерный деформограф-интерферометр и трехкомпонентный сейсмоакустический приёмник. Ранее выявлено, что в период деформационных возмущений в породах регистрируется большое количество сигналов. В настоящей работе представлены результаты анализа регистрируемых сигналов, исследованы их амплитудно-частотные характеристики и выявлены постоянные спектральные составляющие.

Ключевые слова: геодеформационный сигнал, частотно-временной анализ

© М. А. Мищенко, Ю. В. Марапулец, И. А. Ларионов, 2019

Методика наблюдений

Мониторинг геодеформационных сигналов проводится на Камчатке в пункте комплексных геофизических наблюдений «Карымшина» Института космofизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН. Регистрация деформации земной поверхности производится при помощи лазерного деформографа-интерферометра неравноплечного типа, который собран по схеме интерферометра Майкельсона и установлен на поверхности земли на обсадных трубах двух пятиметровых сухих скважин. Длина измерительного плеча интерферометра составляет 18 м, опорного плеча – 0.1 м. Измерительная база интерферометра укрыта деревянной галереей и ориентирована на юго-восток, в сторону сейсмофокальной зоны

*Работа выполнена при поддержке Комплексной программы фундаментальных научных исследований Дальне-восточного отделения РАН «Дальний Восток» на 2018-2020 гг.: проект №18-5-002 «Информационно-вычислительная система моделирования распространения геоакустических и нелинейных деформационных возмущений в земной коре (раздел I)»

Камчатки. На выходе системы регистрации лазерного деформографа рассматривается относительная деформация пород ε с точностью, с учётом влияния метеовеличин, не хуже 10^{-8} . Частота измерений 1 кГц [1].

Регистрация сейсмоакустических сигналов реализована на базе акустического измерительного комплекса [3], который разработан на Научной станции РАН (г. Бишкек, Кыргызстан) и модифицирован для наземных измерений. В качестве датчика сейсмоакустических сигналов используется трехкомпонентный пьезокерамический сейсмоприемник (геофон) А-1638, разработанный и изготовленный в ЗАО «Геоакустика» [4]. Он закреплён на торце оптической скамьи деформографа таким образом, что компоненты y и z лежат в горизонтальной плоскости, x — перпендикулярна этой плоскости. Таким образом, компонента z параллельна линии измерительной базы деформографа. Сейсмоприемник обеспечивает преобразование сейсмоакустических сигналов в электрическое напряжение, пропорциональное величине колебательно-го ускорения в частотном диапазоне 0.5 – 400 Гц. На выходе системы регистрации рассматриваются три ортогональные компоненты (x, y, z) вектора колебательного ускорения с частотой измерений 1 кГц [4].

Результаты наблюдений

За период регистрации в результате использования разработанной методики поиска [5] было выделено большое количество одновременных геодеформационных сигналов, на основе которых сформирована база данных. Ниже на рис.1-5 представлены примеры регистрируемых сигналов и результаты анализа их временных и частотных характеристик. Приведены временные реализации сигналов, их низкочастотные спектры в диапазоне частот 0-70 Гц и спектрограммы, эллипсы направленности сигналов, построенные по данным трехкомпонентного сейсмоприемника.

Результаты анализа эллипсов направленности низкочастотных сигналов, представленных на рис.1-2, показывают, что доминирующей компонентой в сигнале является компонента z , которая характеризует колебания в направлении измерительной оси деформографа. На графиках спектров сигнала деформографа (g, h на рис.1-2) максимальный пик соответствует частоте 22 Гц, та же частота наблюдается на графике спектра компоненты z сейсмоприемника (i на рис.1-2).

На рис.3 представлен пример более высокочастотного сигнала. Результаты анализа эллипсов направленности показывают, что доминирующей компонентой в сигнале является компонента x , которая характеризует колебания в вертикальном направлении. На графике спектра компоненты x сейсмоприемника максимальное амплитудное значение наблюдается на частоте 38 Гц. Эта частота доминирует на спектрах всех компонент сейсмоприемника (i на рис.3) и присутствует в спектрах сигнала деформографа (g, h на рис.3).

На спектрах одновременных сигналов деформографа и сейсмоприемника, приведенных на рис.4, максимальное значение принимают пики на частотах 20 и 44 Гц, регистрируемые компонентой y . Также, в рассматриваемых спектрах можно отметить второстепенные пики, представленные меньшими амплитудными значениями, на частотах 22, 38 и 44 Гц.

Примечательным, является пример техногенного сигнала, приведенный на рис.5. Анализ направленности сигнала показывает, что колебания максимальной амплитуды наблюдаются с направления z . Анализ графиков спектров (g, h, i на рис.5) также

Рис. 1. Пример низкочастотного сигнала. *a* – деформация (грубый канал); *b* – относительная деформация; *c* – три компоненты вектора колебательного ускорения (x, y, z); *d, e, f* – спектрограммы каналов геофона (x, y, z); *g, h* – низкочастотные спектры графиков *a, b*; *i* – низкочастотные спектры каналов геофона; *j* – эллипсы направленности сигнала, построенные попарно по каналам геофона.

Рис. 2. Пример низкочастотного сигнала. *a* – деформация (грубый канал); *b* – относительная деформация; *c* – три компоненты вектора колебательного ускорения (x, y, z); *d, e, f* – спектрограммы каналов геофона (x, y, z); *g, h* – низкочастотные спектры графиков *a, b*; *i* – низкочастотные спектры каналов геофона; *j* – эллипсы направленности сигнала, построенные попарно по каналам геофона.

Рис. 3. Пример более высокочастотного сигнала. *a* – деформация (грубый канал); *b* – относительная деформация; *c* – три компоненты вектора колебательно-го ускорения (x, y, z); *d, e, f* – спектрограммы каналов геофона (x, y, z); *g, h* – низкочастотные спектры графиков *a, b*; *i* – низкочастотные спектры каналов геофона; *j* – эллипсы направленности сигнала, построенные попарно по каналам геофона.

Рис. 4. Пример более высокочастотного сигнала. *a* – деформация (грубый канал); *b* – относительная деформация; *c* – три компоненты вектора колебательно-го ускорения (x, y, z); *d, e, f* – спектрограммы каналов геофона (x, y, z); *g, h* – низкочастотные спектры графиков *a, b*; *i* – низкочастотные спектры каналов геофона; *j* – эллипсы направленности сигнала, построенные попарно по каналам геофона.

Рис. 5. Пример техногенного сигнала. *a* – деформация (грубый канал); *b* – относительная деформация; *c* – три компоненты вектора колебательного ускорения (x, y, z); *d, e, f* – спектрограммы каналов геофона (x, y, z); *g, h* – низкочастотные спектры графиков *a, b*; *i* – низкочастотные спектры каналов геофона; *j* – эллипсы направленности сигнала, построенные попарно по каналам геофона.

показывает, что основная частота 22 Гц наблюдается в спектре компоненты z и спектра сигнала деформографа.

Результаты анализ сигналов, представленных на рис.1-5, показывают, что колебания вектора ускорения, регистрируемого геофоном, в направлении компоненты z соответствуют основной частоте 22 Гц, в направлении компоненты x – 38 Гц, y – 20 Гц. Эти частоты присутствуют в спектрах всех рассмотренных сигналов, с разными амплитудами. Каждая частота соответствует колебаниям своей компоненты вектора ускорения. Также в спектрах сигналов присутствуют другие частоты, имеющие меньшие амплитудные значения.

Заключение

Выявлены геодеоформационные сигналы, одновременно регистрируемые деформографом-интерферометром и трехкомпонентным сейсмоприемником. Проанализированы их частотно-временные характеристики. В спектрах регистрируемых сигналов наблюдаются постоянные частотные составляющие, которые предположительно соответствуют основным резонансным частотам приемной колебательной системы.

Список литературы/References

- [1] Larionov I. A., Marapulets Yu. V., Shevtsov B. M., “Features of the Earth surface deformations in the Kamchatka peninsula and their relation to geoacoustic emission”, *Solid Earth*, **5** (2014), 1293–1300.
- [2] Закупин А. С., Богомолов Л. М., Мубассарова В. А., Ильичев П. В., “Сейсмоакустические проявления воздействий мощных импульсов тока по данным скважинных измерений на Бишкекском геодинамическом полигоне”, *Физика Земли*, **5** (2014), 105–120.

- [Zakupin A. S, Bogomolov L. M., Mubassarova V. A., Il'ichev P. V., "Seismoakusticheskiye proyavleniya vozddeystviy moshchnykh impul'sov toka po dannym skvazhinnykh izmereniy na Bishkekском geodinamicheskom poligone", *Fizika Zemli*, **5** (2014), 105–120, (in Russian)].
- [3] "Сейсмоприёмники пьезоэлектрические А16. Руководство по эксплуатации", 2006, № 402152.004 РЭ, 40 с. ["Seysmopriyomniki p'yezoelektricheskkiye A16. Rukovodstvo po ekspluatatsii", 2006, № 402152.004 RE, 40 pp., (in Russian)].
- [4] Мищенко М. А., Ларионов И. А., Богомолов Л. М., Сычёв В. Н., "Мониторинг геоакустической эмиссии осадочных пород при помощи лазерного деформографа-интерферометра и трехкомпонентного пьезоэлектрического сейсмоприемника", *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки.*, **20**:4 (2017), 83–90. [Mishchenko M. A., Larionov I. A., Bogomolov L. M., Sychev V. N. , "Monitoring of sedimentary rock geoacoustic emission by a laser strainmeter-interferometer and by a three-component piezoelectrical seismometer", *Bulletin KRASEC. Physical and Mathematical Sciences*, 2017, № 4(20), 181–198].
- [5] Mishchenko M., Marapulets Y., Larionov I., Bogomolov L., Sychev V., "Joint analysis of low-frequency geoacoustic and deformation signals", *E3S Web of Conferences*, **62**:02009 (2018).

Список литературы (ГОСТ)

- [1] Larionov I. A., Marapulets Yu. V., Shevtsov B. M. Features of the Earth surface deformations in the Kamchatka peninsula and their relation to geoacoustic emission // *Solid Earth*. 2014. vol. 5. pp. 1293–1300.
- [2] Закупин А. С, Богомолов Л. М., Мубассарова В. А., Ильичев П. В. "Сейсмоакустические проявления воздействий мощных импульсов тока по данным скважинных измерений на Бишкекском геодинамическом полигоне // *Физика Земли*. 2014. №5. С. 105–120."
- [3] Сейсмоприёмники пьезоэлектрические А16. Руководство по эксплуатации. Москва. ЗАО Геоакустика. 402152.004 РЭ. 2006. 40 с.
- [4] Мищенко М. А., Ларионов И. А., Богомолов Л. М., Сычёв В. Н. "Мониторинг геоакустической эмиссии осадочных пород при помощи лазерного деформографа-интерферометра и трехкомпонентного пьезоэлектрического сейсмоприемника // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. 2017. №4(20). С. 83–90."
- [5] Mishchenko M., Marapulets Y., Larionov I., Bogomolov L., Sychev V. Joint analysis of low-frequency geoacoustic and deformation signals // *E3S Web of Conferences*. 2018. vol. 62. 02009.

Для цитирования: Мищенко М. А., Марапулец Ю. В., Ларионов И. А. Анализ временных и частотных характеристик одновременных геодеоформационных сигналов в пункте наблюдений «Карымшина» // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. 2019. Т. 29. № 4. С. 166–172. DOI: 10.26117/2079-6641-2019-29-4-166-172

For citation: Mishchenko M. A., Marapulets Yu. V., Larionov I. A. Analysis of temporal and frequency characteristics of simultaneous geodeformation signals registered at "Karymshina" site, *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki*. 2019, **29**: 4, 166–172. DOI: 10.26117/2079-6641-2019-29-4-166-172

Поступила в редакцию / Original article submitted: 25.10.2019

DOI: 10.26117/2079-6641-2019-29-4-166-172

MSC 86A17

ANALYSIS OF TEMPORAL AND FREQUENCY CHARACTERISTICS OF SIMULTANEOUS GEODEFORMATION SIGNALS REGISTERED AT “KARYMSHINA” SITE¹

M. A. Mishchenko, Yu. V. Marapulets, I. A. Larionov

Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation, FEB RAS, 684034
Kamchatka region, Paratunka, Mirnaya str., 7, Russia

E-mail: micle@ikir.ru

Simultaneous geodeformational observations have been carried out from 2016 to the present time at “Karymshina” site on Kamchatka. A laser deformograph-interferometer and a three-component seismoacoustic receiver were installed to conduct these observations. Earlier it was revealed that a large number of signals were registered in rocks during deformation disturbances. In this work, we present the analysis results of the registered signals. Signal frequency response (magnitude and phase) was studied, and constant spectral components were identified.

Key words: geodeformation signal, time frequency analysis

© M. A. Mishchenko, Yu. V. Marapulets, I. A. Larionov, 2019

¹This work was supported by the Comprehensive Program for Fundamental Scientific Research of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences « Far East » for 2018-2020: project №18-5-002 « Information-computer system for modeling the propagation of geoacoustic and nonlinear deformation disturbances in the earth's crust (section 1) »