

УДК 534.23:551.254

МОНИТОРИНГ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД ПРИ ПОМОЩИ ЛАЗЕРНОГО ДЕФОРМОГРАФА-ИНТЕРФЕРОМЕТРА И ТРЁХКОМПОНЕНТНОГО ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЕЙСМОПРИЁМНИКА

**М. А. Мищенко¹, И. А. Ларионов¹,
Л. М. Богомолов², В. Н. Сычѳв³**

¹ Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, 684034, с. Паратунка, ул. Мирная, 7, Россия,

² Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б, Россия,

³ Научная станция РАН, 720049, Бишкек-49, Кыргызстан

E-mail: micle@ikir.ru

Представлены результаты комплексных геодеформационных наблюдений на Камчатке. В качестве регистрирующих систем использовались лазерный деформограф-интерферометр (разработан в ИКИР ДВО РАН) и трёхкомпонентный пьезоэлектрический сейсмоприѳмник, изготовленный ЗАО «Геоакустика» и предоставленный ИМГиГ ДВО РАН в рамках совместных исследований. Проведен анализ сигналов, принимаемых одновременно разными системами регистрации. Среди них выявлены сейсмические сигналы от землетрясений, импульсы с частотой до 100 Гц и более высокочастотные геоакустические сигналы, регистрируемые ранее системой разнесенных гидрофонов в ИКИР ДВО РАН.

Ключевые слова: геоакустическая эмиссия, деформации, осадочные породы, лазерный деформограф-интерферометр, трёхкомпонентный геофон

© Мищенко М. А. и др., 2017

Методика наблюдений

На Камчатке в пункте комплексных геофизических наблюдений “Карымшина” (52.83° с.ш., 158.13° в.д.), расположенном в зоне пересечения разноранговых тектонических разломов, с осени 2016 года проводятся комплексные геодеформационные наблюдения. Для регистрации деформации земной поверхности используется лазерный деформограф-интерферометр неравноплечного типа, собранный по схеме интерферометра Майкельсона [1]. Его блок-схема представлена на рис. 1.

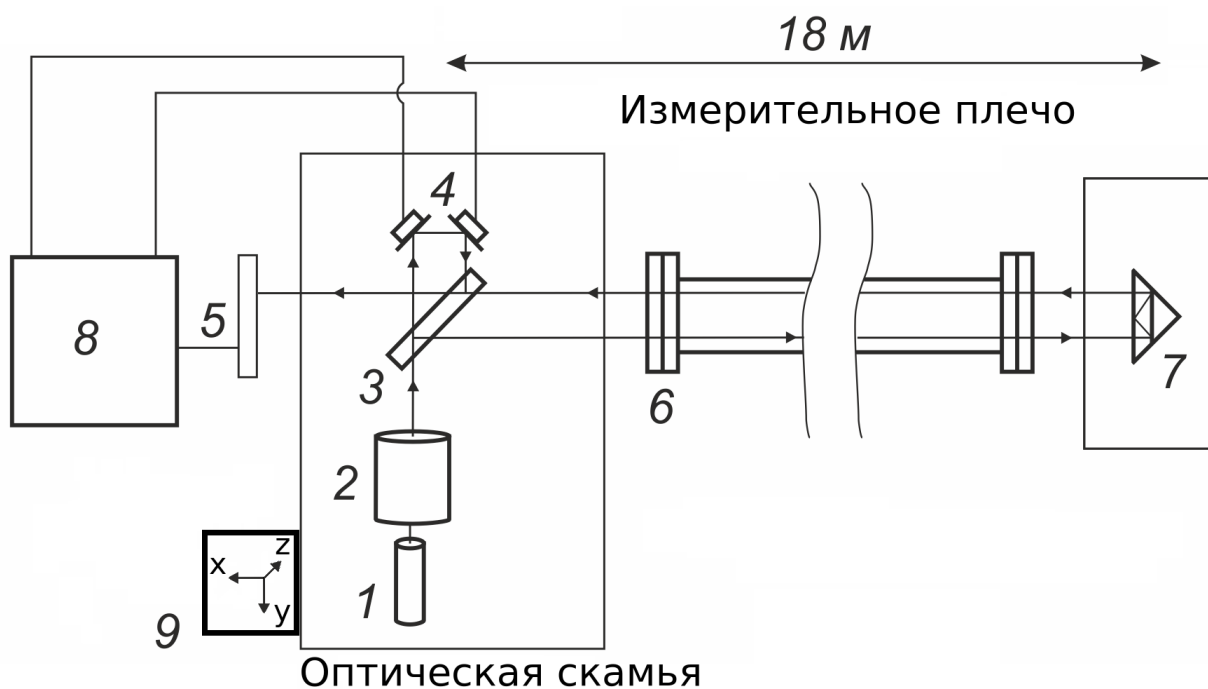


Рис. 1. Блок-схема лазерного деформографа-интерферометра. Цифрами обозначены: 1 – лазер, 2 – коллиматор, 3 – полупрозрачная плоскопараллельная пластина, 4 – плоскопараллельные юстировочные зеркала на пьезокерамических цилиндрах, 5 – фотодиод, 6 – световод, 7 – угольный отражатель, 8 – система регистрации, 9 – место крепления трёхкомпонентного сейсмоприёмника [2].

Он установлен на поверхности земли на обсадных трубах двух пятиметровых сухих скважин, разнесенных на 18 м (длина измерительного плеча интерферометра). Опорное плечо составляет 0.1 м. Измерительная база интерферометра укрыта деревянной галереей и ориентирована на юго-восток, в сторону сейсмофокальной зоны Камчатки. Принцип работы деформографа состоит в том, что при изменении его базы изменяется оптический путь лазерного луча, пробегающего расстояние между двумя точками, составляющее базу прибора, что влечёт за собой изменение фазы волны лазерного излучения вследствие дополнительного фазового набега. Это изменение фазы и является измеряемой величиной, по которой можно вычислить относительную деформацию пород ϵ . 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 [2].

Для регистрации сейсмоакустических сигналов используется геоакустический измерительный комплекс [2], разработанный на Научной станции РАН (г. Бишкек,

Кыргызстан) и предоставленный ИМГиГ ДВО РАН в рамках совместных исследований. Блок-схема измерительного комплекса представлена на рис. 2.



Рис. 2. Блок-схема геоакустического измерительного комплекса. Д – датчик сигналов (трехкомпонентный пьезоэлектрический сейсмоприемник), БКУ – блок кабельных усилителей, БУФ – блок усиления и фильтрации (три независимых канала), АЦП – блок аналого-цифрового преобразования, ПК – персональный компьютер [3].

Комплекс состоит из двух соединённых между собой частей: выносной и основной. Выносная часть аппаратуры, состоящая из датчика сигналов и блока кабельных усилителей, размещается в точке регистрации сигналов. Основная часть комплекса включает в себя блок усиления и фильтрации, блок аналого-цифрового преобразования и ПК – персональный компьютер [3].

В качестве датчика сейсмоакустических сигналов используется трехкомпонентный пьезокерамический сейсмоприемник А-1638, разработанный и изготовленный в ЗАО «Геоакустика» [4]. Сейсмоприемник закреплён на торце оптической скамьи деформографа (9 на рис. 1), которая расположена на одной из обсадных труб, и обеспечивает преобразование сейсмоакустических сигналов в электрическое напряжение, пропорциональное величине колебательного ускорения в частотном диапазоне 0.2 – 400 Гц. Осуществляется одновременное преобразование в электрический сигнал трех ортогональных компонент (x , y , z) вектора колебательного ускорения и их регистрация с частотой измерений 1 кГц.

В соответствии с примером установки сейсмоприёмника на оптической скамье деформографа (9 на рис.1) компоненты x и y лежат в горизонтальной плоскости, z – перпендикулярна этой плоскости. Также, компонента x параллельна линии измерительной базы деформографа, y и z – перпендикулярны ей.

Результаты наблюдений

Для анализа данных был рассмотрен период регистрации с 8 сентября по 22 ноября 2016 года. Рассматривались относительная деформация приповерхностных пород ϵ и три компоненты (x , y , z) вектора колебательного ускорения. За указанный период наблюдений было обнаружено более 150 импульсов, зарегистрированных одновременно двумя измерительными системами.

На рис. 3 приведены примеры записи сигналов сейсмических событий, зарегистрированных в пункте наблюдений «Карымшина». Характеристики землетрясений: 2016.11.06, 22:00:37 UT, энергетический класс $K=9.2$, расстояние до пункта наблюдений $D=82$ км, глубина $H=92$ км (рис. 3, слева); 2016.10.14, 21:28:44 UT, энергетический класс $K=10.3$, расстояние до пункта наблюдений $D=66$ км, глубина $H=132$ км (рис. 3, справа). Данные по землетрясениям представлены Камчатским филиалом геофизической службы РАН.

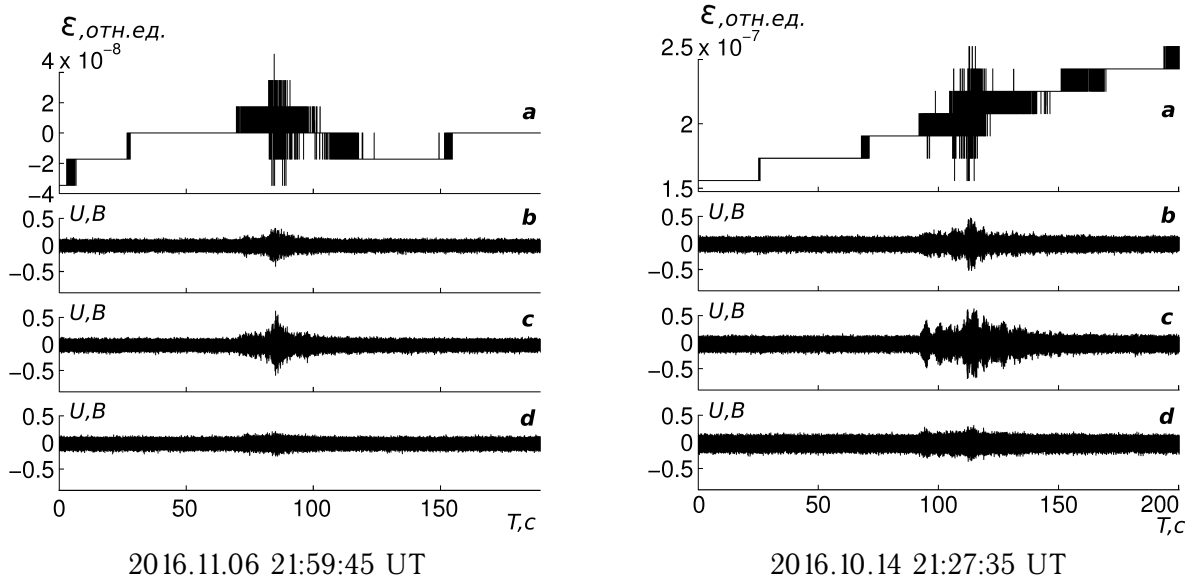


Рис. 3. Примеры записи сигналов землетрясений двумя измерительными системами. На графиках слева и справа для каждого землетрясения представлены: *a* – относительная деформация; *b*, *c*, *d* – три компоненты вектора колебательного ускорения (*x*, *y*, *z* соответственно). Дата и время внизу – начало записи фрагментов.

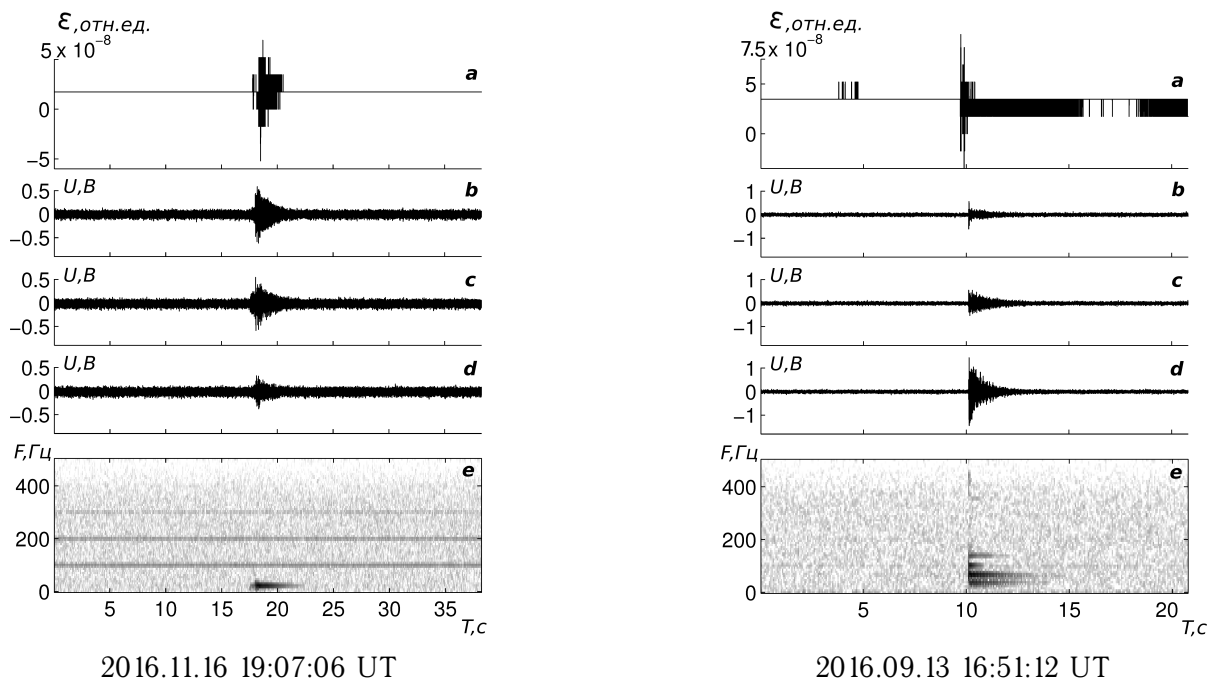


Рис. 4. Примеры зарегистрированных геоакустических сигналов (слева с частотой заполнения 20-50 Гц; справа – более высокочастотный). На графиках слева и справа для каждого фрагмента представлены: *a* – относительная деформация; *b*, *c*, *d* – три компоненты вектора колебательного ускорения (*x*, *y*, *z* соответственно). *e* – спектрограмма его компоненты (*x* для сигнала слева, *z* для сигнала справа). Дата и время внизу – начало записи фрагментов.

На рис. 4 приведены примеры зарегистрированных геоакустических сигналов. Слева фрагмент с низкочастотным сигналом (частота в пределах 20–50 Гц). Сигнал справа имеет более высокочастотный спектр. Его частота ограничивается примерно 200 Гц. Сигналы подобной формы регистрировались и ранее акустическими комплексами ИКИР ДВО РАН [5].

В ходе проведения наблюдений измерительные системы также регистрировали сигналы антропогенного происхождения. Пример такого сигнала приведён на рис. 5 (слева).

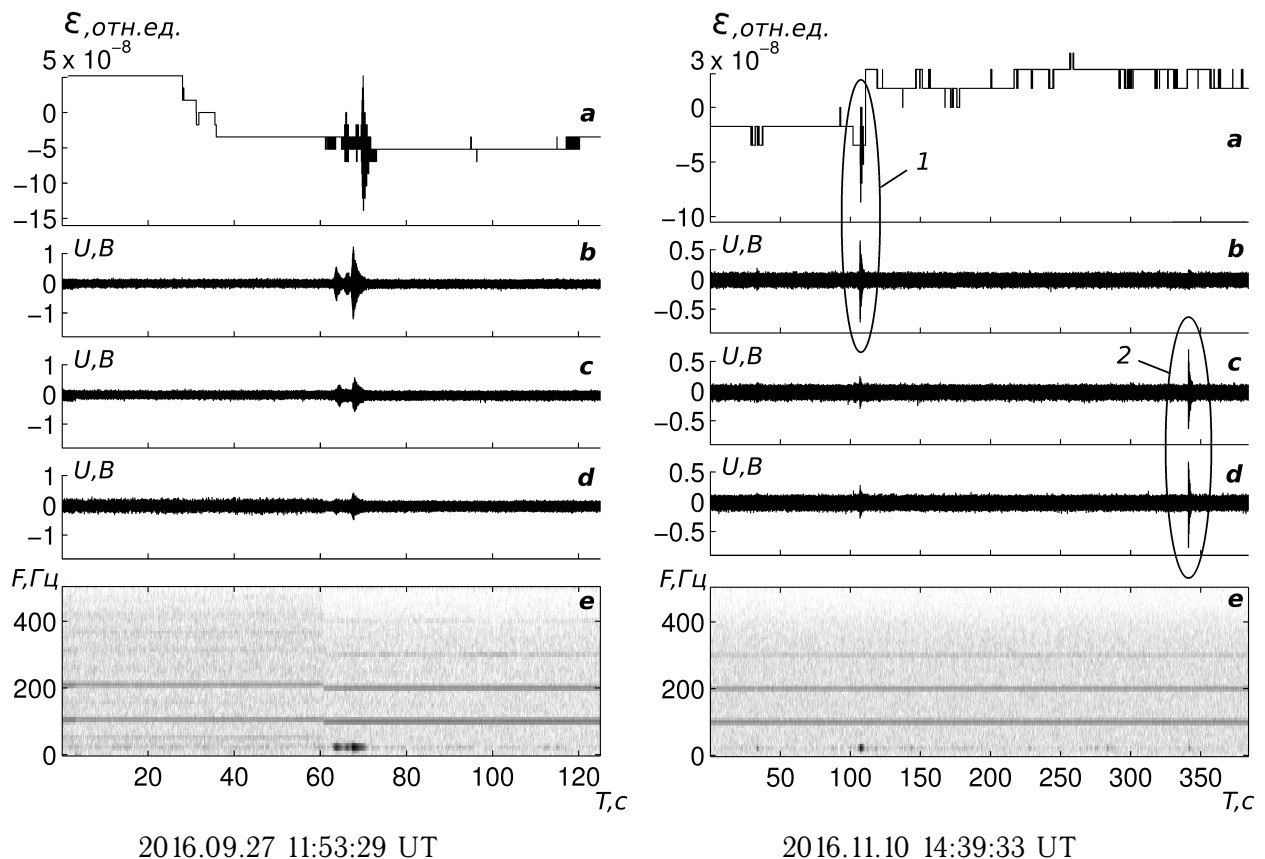


Рис. 5. Пример записи антропогенного сигнала (слева) и справа – сигналов, пришедших с разных направлений. На графиках для каждого фрагмента представлены: *a* – относительная деформация; *b*, *c*, *d* – три компоненты вектора колебательного ускорения (*x*, *y*, *z* соответственно); *e* – спектрограмма компоненты *x*. Эллипсами на фрагменте записи справа выделены рассматриваемые сигналы. Дата и время внизу – начало записи фрагментов.

Время его прихода примерно совпадает с моментом выключения дизель генератора, который расположен на расстоянии 75 м от измерительных систем.

На рис. 5 (справа) приведён фрагмент записи, анализ которого позволяет оценить направление на источник регистрируемых сигналов по уровню их амплитуд в разных каналах. Первый импульс (рис. 5, справа, обозначен эллипсом 1) записан обеими системами регистрации. По анализу значений его амплитуды в каналах сейсмоприёмника (графики *b*, *c*, *d*) можно сказать, что направление прихода импульса приблизительно совпадает с измерительной осью деформографа. Поэтому, он отчётливо виден на графиках *a*, *d* и почти неразличим на графиках *b*, *c*. Вторым импульсом

(рис. 5, справа, обозначен эллипсом 2) зарегистрирован только сейсмоприёмником. Он отчётливо виден на графиках *b*, *c* и отсутствует на графике *d*. Также он отсутствует на записи деформографа (график *a*). С учетом этого, направление прихода импульса примерно перпендикулярно измерительной оси деформографа.

Анализ одновременно регистрируемых сигналов показывает, что между ними наблюдаются временные задержки на разных системах регистрации. Причиной возникновения задержек могут быть как незначительная рассинхронизация систем регистрации, так и фактическое запаздывание сигналов во времени, обусловленное условиями распространения. Изучение этого вопроса планируется продолжить в дальнейших исследованиях.

Заключение

По результатам комплексных геодеформационных наблюдений выявлены сигналы, одновременно принимаемые двумя системами регистрации. Это сигналы от землетрясений, низкочастотные геоимпульсы с частотой до 50 Гц, более высокочастотные геоакустические сигналы в диапазоне 50-200 Гц, а также шумы антропогенной природы.

Список литературы

- [1] Долгих Г.И. и др., “Применение лазерных деформографов вертикальной и горизонтальной ориентации в геофизических исследованиях переходных зон”, *Физика Земли*, **8** (2002), 69–73. [Dolgikh G.I. et al., “Application of laser strainmeters of vertical and horizontal orientation in geophysical surveys of transition zones”, *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, **38(8)** (2002), 686–689].
- [2] 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 <https://doi.org/10.5194/se-5-1293-2014>.
- [3] Закупин А.С. и др., “Сейсмоакустические проявления воздействий мощных импульсов тока по данным скважинных измерений на Бишкекском геодинамическом полигоне”, *Физика Земли*, **5** (2014), 105–120. [Zakupin A.S. et al., “Seismoacoustic manifestations of powerful pulse effects according to the data of well measurements on Bichkek geodynamic test field”, *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, **50(5)** (2014), 692–706 <http://dx.doi.org/10.1134/S1069351314040193>].
- [4] *Сейсмоприёмники пьезоэлектрические А16*, Руководство по эксплуатации. 402152.004РЭ, ЗАО Геоакустика, Москва, 2006, 40 с. [*Seysmopriemniki p'ezoelektricheskie А16*, Rukovodstvo po ekspluatatsii. 402152.004RE, ЗАО Geoakustika, Moscow, 2006, 40 pp.]
- [5] Марапулец Ю.В., Шевцов Б.М., *Мезомасштабная акустическая эмиссия*, Дальнаука, Владивосток, 2012, 126 с. [Marapulets Yu.V., Shevtsov B.M., *Mezomasshtabnaya akusticheskaya emissiya*, Dal'nauka, Vladivostok, 2012, 126 pp.]

Список литературы (ГОСТ)

- [1] Долгих Г.И. и др. Применение лазерных деформографов вертикальной и горизонтальной ориентации в геофизических исследованиях переходных зон // *Физика Земли*. 2002. № 8. С. 69–73
- [2] 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. no. 5. pp. 1293–1300. <https://doi.org/10.5194/se-5-1293-2014>

- [3] Закупин А. С. и др. Сейсмоакустические проявления воздействий мощных импульсов тока по данным скважинных измерений на Бишкекском геодинамическом полигоне // *Физика Земли*. 2014. по. 5. С. 105–120. <http://dx.doi.org/10.1134/S1069351314040193>
- [4] Сейсмоприёмники пьезоэлектрические А16. Руководство по эксплуатации. 402152.004РЭ. Москва. ЗАО Геоакустика. 2006. 40 с.
- [5] Марапулец Ю. В., Шевцов Б. М. Мезомасштабная акустическая эмиссия. Владивосток: Дальнаука. 2012. 126 с.

Для цитирования: 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. DOI: 10.18454/2079-6641-2017-20-4-83-90

For citation: Mishchenko M. A., Larionov I. A., Bogomolov L. M., Sychev V. N. Monitoring of sedimentary rock geoaoustic emission by a laser strainmeter-interferometer and by a three-component piezoelectrical seismometer, *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki*. 2017, **20**: 4, 83-90. DOI: 10.18454/2079-6641-2017-20-4-83-90

Поступила в редакцию / Original article submitted: 06.11.2017

DOI: 10.18454/2079-6641-2017-20-4-83-90

MSC 86A17

MONITORING OF SEDIMENTARY ROCK GEOACOUSTIC EMISSION BY A LASER STRAINMETER-INTERFEROMETER AND BY A THREE-COMPONENT PIEZOELECTRICAL SEISMOMETER

**M. A. Mishchenko¹, I. A. Larionov¹,
L. M. Bogomolov², V. N. Sychev³**

¹ Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation FEB RAS, 684034, Kamchatsky Kray, Paratunka, Mirnaya st., 7, Russia,

² Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, 693022, Yuzhno-Sakhalinsk, Nauki st., 1B, Russia,

³ Research Station RAS, 720049, Bishkek-49, Kyrgyzstan

E-mail: micle@ikir.ru

The results of complex geodeformation observations in Kamchatka are presented. A laser strainmeter-interferometer (developed at IKIR FEB RAS) and a three-component piezoelectrical seismometer, constructed by ZAO “Geoakustica” and provided by IMGiG FEB RAS within a joint research, were used as the registering systems. Signals, received simultaneously by different registration systems, were analyzed. Seismic signals from earthquakes, pulses with the frequency up to 100 Hz and higher-frequency geoacoustic signals, which had been registered by a system of spaced hydrophones at IKIR FEB RAS before, were detected.

Key words: geoacoustic emission, deformations, sedimentary rocks, laser interferometer deformography, three-component geophone

© Mishchenko M. A., et. al., 2017