

DOI: 10.26117/2079-6641-2019-26-1-94-99

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

УДК 551.25.254:534.23

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ АТМОСФЕРНО-ЛИТОСФЕРНОГО  
НАБЛЮДЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПУНКТЕ  
«КАРЫМШИНА» НА КАМЧАТКЕ.**

**И. А. Ларионов, Ю. В. Марапулец**

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

E-mail: igor@ikir.ru

Излагаются результаты комплексных наблюдений акустического излучения в приповерхностных породах и в атмосфере у поверхности земли. Инструментами наблюдений служат лазерный деформограф-интерферометр и микробарометр, установленные в непосредственной близости друг от друга. В работе приводится описание способа установки оборудования, показано как влияние метеорологических помех на исследуемые величины, так и возмущения, обусловленные сейсмическими и тектоническими процессами.

*Ключевые слова: геоакустическая эмиссия, деформации, осадочные породы, лазерный деформограф-интерферометр, микробарометр*

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

---

INSTRUMENTS AND METHODS OF MEASUREMENT

MSC 86A17

**SOME FEATURES OF ATMOSPHERIC-LITHOSPHERIC OBSERVATIONS OF  
ACOUSTIC EMISSION AT «KARYMSHINA»  
SITE IN KAMCHATKA**

**I. A. Larionov, Yu. V. Marapulets**

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

E-mail: igor@ikir.ru

The results of complex observations of acoustic emission in the near surface rocks and by the ground surface in the atmosphere are presented. The observation instrumentation includes a laser strainmeter-interferometer and a microbarometer installed in the intermediate vicinity from each other. The paper describes the method of instrumentation installation, meteorological noise effect on the values under the study and disturbances determined by seismic and tectonic processes.

*Key words: geoacoustic emission, deformations, sedimentary rocks, laser interferometer deformography, microbarometer*

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

## Методика наблюдений

В настоящее время актуальной задачей в акустике является направление, связанное с совместным изучением акустических волновых процессов на границе литосферы и атмосферы. Исследование акустических волн, распространяющихся в системе твердое тело - газ, необходимо для построения моделей связи литосферы, атмосферы, ионосферы, магнитосферы, что является одним из важнейших направлений в геофизике.

Наиболее сильно литосферно-атмосферное воздействие проявляется в сейсмоактивных регионах на заключительной стадии подготовки землетрясений [1, 2]. Большой интерес к совместному рассмотрению сейсмоакустических волновых процессов, обусловлен тем, что акустические волны инфразвукового диапазона способны распространяться на большие расстояния и при благоприятных условиях (малом затухании и рассеянии, слабой рефракции в атмосфере) достигать ионосферных высот [3]. Благодаря этому они играют существенную роль в переносе энергии между геосферами.

В 2016 году на базе лаборатории акустики ИКИР ДВО РАН был разработан и введен в эксплуатацию лазерный деформограф-интерферометр, собранный по схеме интерферометра Майкельсона [4]. Принцип работы самых простых состоит в том, что изменение базы деформографа приводит к дополнительному приращению фазы в волне лазерного излучения. Метод её измерения заключается в следующем. Смещение зеркал интерферометра, расположенных на концах базы  $l$ , на величину  $\lambda/2$  даёт изменение интерференционной картины на одну полосу, где  $\lambda$  - длина волны света, на которой работает интерферометр. Общее относительное смещение будет равно  $\Delta l = N(\lambda/2)$ , где  $N$  - количество полос интерференционной картины. Возможности интерференционного метода ограничиваются точностью измерения перемещений доли полосы  $\Delta N$ , которая определяется параметром резкости интерференционной картины  $F_k$  и характеризуется отношением  $F_k = \frac{\Delta \lambda}{\delta \lambda}$ , т.е. составляет отношение расстояния между максимумами к половине ширины максимума  $\delta \lambda$ .

Преимуществом лазерных деформографов перед механическими аналогами является, в первую очередь, исключение механического чувствительного элемента. На измерения, проводимые деформографом «открытого» типа, без использования световодов, накладывают ограничения по точности регистрации, обусловленные влиянием вариаций метеорологических параметров. Наиболее сильное влияние оказывают ветер, осадки, температура воздуха и атмосферное давление. Для устранения влияния ветра и осадков используют специальные укрытия. Изменение атмосферного давления и температуры воздуха достаточно медленный процесс, который происходит в течение нескольких часов, что позволяет делать оценки для более быстрых деформационных процессов. Исходя из расчётных данных, деформограф, установленный в таких условиях, имеет точность измерения относительных деформаций не хуже  $10^{-8}$  [5, 6].

Для измерения атмосферного акустического излучения используется дифференциальный микробарометр ISGM-03M, производства научно-технического центра «Геофизические измерения» г. Новосибирск, установленный в 4 метрах от деформографа в яме, глубиной 0,5 метра от поверхности земли, и укрытый сверху от воздействия осадков. Микробарометр ISGM-03M предназначен для преобразования вариаций атмосферного давления в электрический сигнал в полосе рабочих частот от 0.02 до 4 Гц и в диапазоне амплитуд от 0,001 до 100 Па.

Принцип действия прибора основан на измерении смещения упругой мембраны относительно неподвижного электрода от воздействия вариации атмосферного давления с помощью емкостного датчика перемещения. Питание емкостного преобразователя перемещения мембраны осуществляется от генератора опорной частоты, стабилизированного по амплитуде и частоте с целью снижения собственного шума измерительного усилителя. Для радикального снижения дрейфа нуля и низкочастотного шума усилителя в рабочем диапазоне температуры в его схему введен разделительный трансформатор сигналов, причем первичная обмотка одновременно используется в качестве элемента фильтра верхних частот (ФВЧ). При таком построении усилителя температурный дрейф нуля создается только оконечным каскадом, имеющим минимальный коэффициент усиления, и не превышает 0,1 мкВ на градус Цельсия. Таким образом, уровень собственного шума усилителя определяется шумом входного каскада на опорной частоте и сведен к минимуму подбором соответствующих элементов.

Мембранный узел микробарометра, включающий мембрану, неподвижный электрод (основу которого составляет плавленный кварц), капилляр для выравнивания статического давления, и связанный с окружающей воздушной средой через четыре акустических входа, обеспечивает низкий уровень собственного шума микробарометра и его высокую температурную стабильность, а также малые габариты и вес. В конструкции мембранного узла используется тонкая мембрана из специального устойчивого к коррозии сплава с контролируемым натяжением. Стабильность силы натяжения мембраны в рабочем диапазоне температуры достигается термокомпенсированной конструкцией мембранного узла, что обеспечивает постоянство коэффициента преобразования (чувствительности) микробарометра и дополнительное снижение собственного шума.

Важной особенностью поставленного эксперимента является то, что установленные в непосредственной близости друг от друга приборы в зимне-весеннее время года укрыты трехметровым снежным покровом, что обеспечивает температурную стабилизацию. Она контролируется с помощью температурного датчика, закреплённого непосредственно на основании оптической системы деформографа. Для анализа влияния других метеорологических факторов использовались данные с метеостанции, расположенной в 20 метрах от установки деформографа. Следует отметить, что атмосферное давление изменяется медленно в течении суток и не оказывает влияние на быстрые деформационные процессы и показания микробарометра из-за наличия капилляра для стравливания статического давления. Существенное воздействие на показания приборов оказывает скорость ветра, которое выражается в усилении колебания амплитуды сигнала.

## Результаты наблюдений

Как было показано в работе [7], возрастание скорости деформационного процесса вызывает увеличение вариаций акустического давления в приповерхностном слое атмосферы. Была проведена оценка воздействия метеорологических факторов на корреляцию показаний двух видов измерений. В данной работе рассматривается влияние сейсмической волны, как естественного калибровочного воздействия на обе системы регистрации. В зимний период – при более благоприятных условиях, были рассмотрены 10 землетрясений, энергетического класса выше 11 и расстояния до

точки измерения не более 250 км. Для наглядности, на рисунках 1 и 2, приведены наиболее сильные землетрясения.

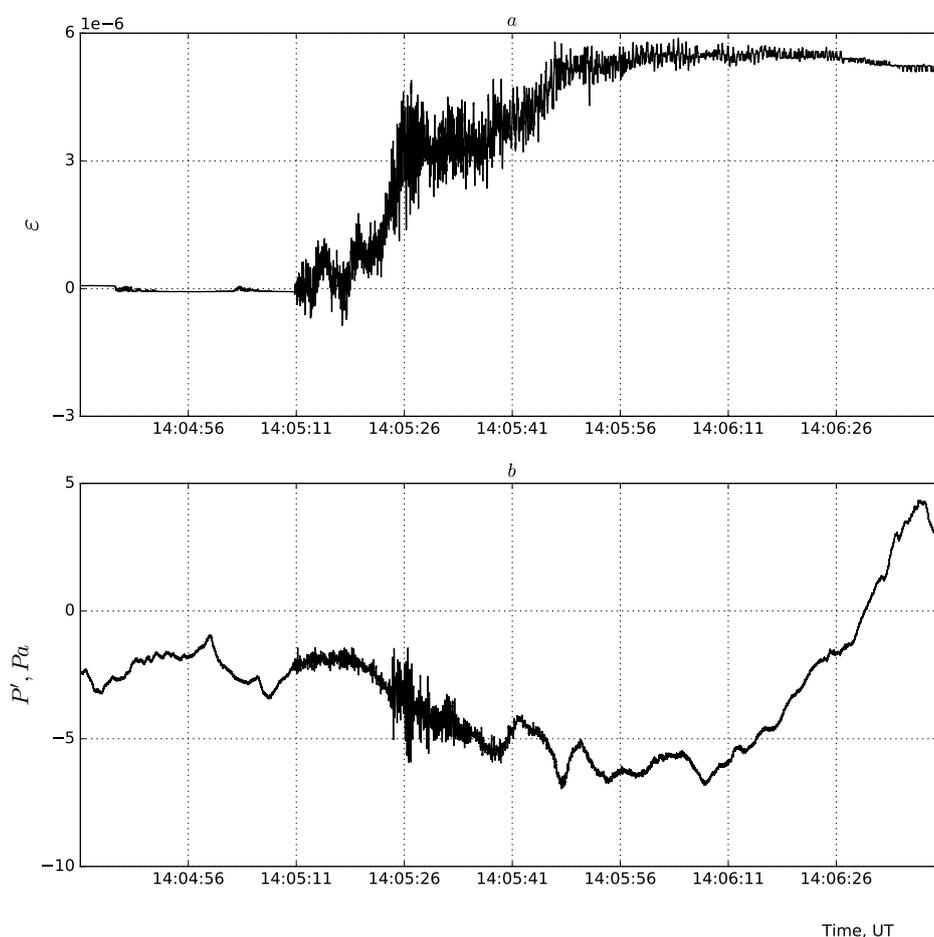


Рис. 1. Запись землетрясения 14:04:50UT 14.01.2018  $K_s = 11.3$ : а) Деформографом, б) Микробарометром

На рис. 1 показано землетрясение 14 января 2018 г. с энергетическим классом  $K_s = 11.3$ , которое произошло на расстоянии 117.5 км. до пункта наблюдений. Как видно из приведенного рисунка сейсмическое событие одновременно регистрируется деформографом и микробарометром, причем четко разделяется приход  $P$  и  $S$  волны. По времени задержки рассчитаны их скорости, которые составляют 6 и 3 км/с соответственно, что соответствует справочным величинам.

На рис. 2 показано землетрясение 5 марта 2018 г. с энергетическим классом  $K_s = 13.1$ , которое произошло на расстоянии 186.5 км. до пункта наблюдений. На показаниях деформографа видно, что относительные деформации больше на порядок, однако  $P$  и  $S$  волны видны не явно. Возможно, это связано с чувствительностью прибора при сильном воздействии. Рассчитанные скорости соответствуют указанным ранее.

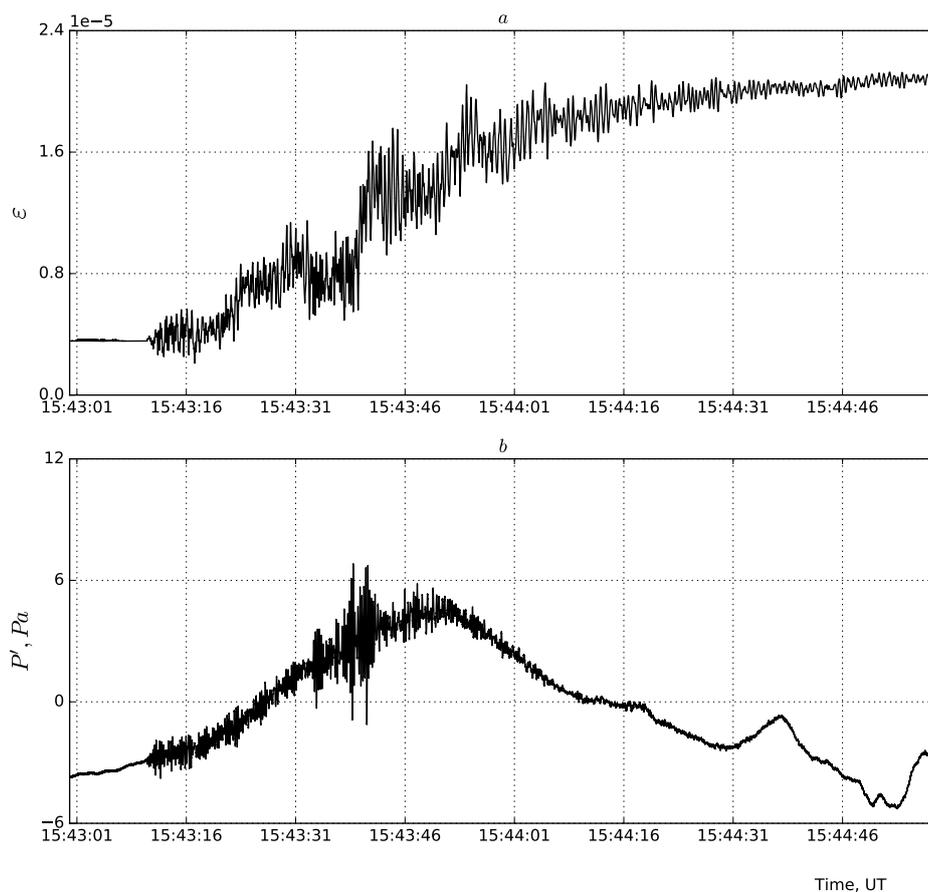


Рис. 2. Запись землетрясения 15:42:41UT 5.03.2018  $K_s = 13.1$ : а) Деформографом, б) Микробарометром

## Заключение

Таким образом, показано, что деформационные волны от сейсмического события вызывают возмущения акустического давления в приповерхностном слое, обе системы наблюдений одновременно регистрируют приход  $P$  и  $S$  волны. Приведенные результаты исследований показывают возможность регистрации влияния локальных деформаций на изменение приповерхностного акустического давления.

## Список литературы/References

- [1] Адушкин В. В. и др., “Динамические процессы в системе взаимодействующих геосфер на границе земная кора–атмосфера”, *Физика Земли*, **7** (2006), 34–51. [Adushkin V. V. et al., “Dynamic processes in the system of interacting geospheres at the Earth’s crust-atmosphere boundary”, *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, **42**:7 (2006), 567-584 (in Engl. transl.).]
- [2] Gordienko V. A. et al., “Anomaly in high-frequency geoacoustic emission as a close earthquake precursor”, *Acoustical physics*, **54**:1 (2008), 82–93.
- [3] Кузнецов В. В., Плоткин В. В., Хомутов С. Ю., “Акустические и электромагнитные явления в атмосфере при вибросейсмическом зондировании”, *Докл. РАН*, **370**:2 (2000), 243–248. [Kuznetsov V.V., Plotkin V.V., Homutov S.YU., “Akusticheskie i ehlektromagnitnye yavleniya v atmosfere pri vibrosejsmicheskom zondirovanii [Acoustic

and electromagnetic phenomena in the atmosphere during vibration seismic sounding]”, *Dokl. RAN*, **370**:2 (2000), 243–248 (in Russian)].

- [4] Larionov I. A., Nepomnyashchiy Y. A., “Peculiarities of geodeformation measurements of near surface sedimentary rocks”, *E3S Web of Conferences*, **11** (2016), 00010.
- [5] 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.
- [6] Marapulets Yu. V. et al., “Geoacoustic emission response to deformation processes activation during earthquake preparation”, *Russian Journal of Pacific Geology*, **6** (2012), 457–464.
- [7] Larionov I. A., “Complex atmospheric-lithospheric observations of acoustic emission at «Karymshina» site in Kamchatka”, *E3S Web of Conferences*, **20** (2017), 02006.

## Список литературы (ГОСТ)

- [1] Адушкин В. В. и др. Динамические процессы в системе взаимодействующих геосфер на границе земная кора–атмосфера // *Физика Земли*. 2006. №. 7. С. 34–51.
- [2] Gordienko V. A. et al. Anomaly in high-frequency geoacoustic emission as a close earthquake precursor // *Acoustical physics*. 2008. vol. 54. no. 1. P. 82–93.
- [3] Кузнецов В. В., Плоткин В. В., Хомутов С. Ю. Акустические и электромагнитные явления в атмосфере при виброрейсмическом зондировании // *Докл. РАН*. 2000. Т. 370. №. 2. С. 243–248.
- [4] Larionov I. A., Nepomnyashchiy Y. A. Peculiarities of geodeformation measurements of near surface sedimentary rocks // *E3S Web of Conferences*. 2016. vol. 11. 00010.
- [5] 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. P. 1293–1300.
- [6] Marapulets Yu. V. et al. Geoacoustic emission response to deformation processes activation during earthquake preparation // *Russian Journal of Pacific Geology*. 2012. vol. 6. P. 457–464.
- [7] Larionov I. A. Complex atmospheric-lithospheric observations of acoustic emission at «Karymshina» site in Kamchatka // *E3S Web of Conferences*. 2017. vol 20. 02006.

**Для цитирования:** Ларионов И. А., Марапалец Ю. В. Некоторые особенности атмосферно-литосферного наблюдения акустического излучения в пункте «Карымшина» на Камчатке // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. 2019. Т. 26. № 1. С. 94-99. DOI: 10.26117/2079-6641-2019-26-1-94-99

**For citation:** Larionov I. A., Marapulets Yu. V. Some features of atmospheric-lithospheric observations of acoustic emission at «Karymshina» site in Kamchatka, *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki*. 2019, **26**: 1, 94-99. DOI: 10.26117/2079-6641-2019-26-1-94-99

Поступила в редакцию / Original article submitted: 06.02.2019