

УДК 531.715.1  
ГРНТИ 37.31.19  
ВАК 1.3.19

Изучение сейсмодетформационных явлений системой  
пространственно разнесенных лазерных интерферометров

\* Александров Д. В., Дубров М. Н.

*Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им.  
В.А. Котельникова РАН*

*141190 Россия, г. Фрязино Московской обл., пл. Введенского, 1  
email: \* [diman1234@list.ru](mailto:diman1234@list.ru)*

Проявление сейсмической активности Земли выражается в широком разнообразии форм движения и деформаций её поверхности и глубинных слоев. Стандартный сейсмоприемник, расположенный в какой-либо точке на поверхности земли, измеряет смещение (скорость, ускорение) данной точки и определяет локальные движения земной поверхности вблизи этой точки. Лазерный интерферометр, применяемый в качестве прецизионного деформографа, измеряет разность смещений двух точек, разнесенных в пространстве на длину плеча  $L$  – измерительного базиса интерферометра. Полученный результат измерения  $dL$  с одной стороны характеризует движение уже некоторой области в верхнем слое Земли до глубины порядка  $L$ , а с другой стороны – является дифференциалом, пропорциональным пространственной производной поля смещений, т. е. является качественно новой физической величиной, практически не используемой до сих пор в современной сейсмологии. Измеренная деформация  $e = dL/L$  и составляет величину порядка  $e \sim 10^{(-12)} - 10^{(-13)}$  для минимальных амплитуд, разрешаемых стандартными сейсмоприемниками и наиболее совершенными лазерными деформографами [1]. Эффективность интерферометров-деформографов может быть повышена путем их пространственного разнесения. Два синхронно работающие прибора на расстояние порядка  $10^{(2)}$  км друг от друга чувствительны к движениям земной коры на глубинах вплоть до зоны Мохоровичича и способны зарегистрировать геофизические процессы регионального масштаба. При разнесении интерферометров на расстояния порядка  $10^{(3)} - 10^{(4)}$  км в зону их чувствительности входят процессы глобальных масштабов, затрагивающие глубинные слои Земли, а также возмущения в земной атмосфере и Мировом океане. Представляемые результаты охватывают 20-летний период наблюдений, выполненных в 2003–2023 г. лазерными деформографами,

основанными на двух базовых схемах: модифицированный двухлучевой интерферометр Майкельсона с пространственным разнесением прямого и отраженного пучков и трехзеркальный лазер-интерферометр с оптической обратной связью. Используемые методы и измерительные устройства обеспечивали инструментальное абсолютное разрешение 0,1–0,001 нм на измерительных базисах от единиц до сотен метров. Интерферометры устанавливались в четырех пунктах наблюдения, расположенных в различающихся сейсмо-тектонических и геологических зонах. Два пункта наблюдения расположены в асейсмической зоне Московской синеклизы (п. Фрязино и п. Обнинск – расстояние между установками около 140 км). Полученные данные сопоставляются с результатами измерений, выполненных лазерными интерферометрами в двух других удаленных на расстояния 6–7 тыс. км пунктах наблюдения: в прибрежной зоне Японского моря [2] и в зоне тектонического разлома у восточного побережья Камчатки [3]. Результаты параллельного анализа полученных данных показывают возможность применения предложенной методики для разделения локальных и глобальных возмущений, вызываемых мощными геофизическими явлениями – землетрясениями, ураганами и другими процессами. Работа выполнена в рамках Госзадания ИРЭ им.В.А.Котельникова РАН.

#### Список литературы

1. Amoruso A., Crescentini L. // J. Geodynamics. 2009. V. 48. N3–5. P. 120.
2. Dolgikh G. I., Dubrov M. N., Dolgikh S. G. et al. // Acta Geophys. 2006. V.54, N2, P. 187.
3. Aleksandrov D. V., Dubrov M. N., Larionov I. A. et al. // J. Volcanology and Seismology. 2019. V. 13. N3. P. 193.

#### Study of seismic-strain phenomena by system of spatially distanced laser interferometers

Aleksandrov D. V., Dubrov M. N.

*Fryazino Branch of the Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics of the Russian Academy of Sciences*

The manifestation of the Earth's seismic activity is expressed in a wide variety of forms of movement and deformation of its surface and deep layers. A standard seismic receiver located at any point on the earth's surface measures the displacement (velocity, acceleration) of this point and determines the local movements of the earth's surface near this

point. A laser interferometer used as a precision strainmeter measures the difference in the displacements of two points spaced apart in space by the length of the arm  $L$  – the measuring basis of the interferometer. The obtained measurement result  $dL$ , on the one hand, characterizes the motion of a certain area in the upper layer of the Earth to a depth of the order of  $L$ , and, on the other hand, is a differential being proportional to the spatial derivative of the displacement field, i.e. is a qualitatively new physical quantity, practically not used until now in modern seismology. Measured strain  $e = dL/L$  and is about  $e \sim 10^{(-12)}-10^{(-13)}$  for the minimum amplitudes resolved by standard geophones and the most advanced laser strainmeters [1]. The efficiency of interferometer-strainmeters can be increased by their spatial separation. Two synchronously operating instruments at a distance of about  $10^{(2)}$  km from each other are sensitive to the movements of the earth's crust at depths down to the Mohorovichich zone and are able to register geophysical processes on a regional scale. When the interferometers are separated by distances of the order of  $10^{(3)}-10^{(4)}$  km, their sensitivity zone includes global-scale processes affecting the deep layers of the Earth, as well as disturbances in the Earth's atmosphere and the World Ocean. The presented results cover a 20-year period of observations performed in 2003–2023 by laser strainmeters based on two basic schemes: a modified two-beam Michelson interferometer with spatial separation of the direct and reflected beams and a three-mirror laser-interferometer with optical feedback. The methods and measuring devices used provided an instrumental absolute resolution of 0.1–0.001 nm on measuring bases from units to hundreds of meters. The interferometers were installed at four observation points located in different seismotectonic and geological zones. Two observation points are located in the aseismic zone of the Moscow syncline (Fryazino and Obninsk – the distance between the installations is about 140 km). The data obtained are compared with the results of measurements performed by laser interferometers at two other observation points remote at a distance of 6–7 thousand km: in the coastal zone of the Sea of Japan [2] and in the zone of a tectonic fault off the eastern coast of Kamchatka [3]. The results of a parallel analysis of the obtained data show the possibility of using the proposed method to separate local and global disturbances caused by powerful geophysical phenomena – earthquakes, hurricanes and other processes.