

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ СВОЙСТВ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА НА ТЕРРИТОРИИ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «КЛЮЧИ» ПО ЗАПИСЯМ МИКРОСЕЙСМ**

*Юрий Иванович Колесников*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории динамических проблем сейсмологии, тел. (383)333-31-38, e-mail: KolesnikovYI@ipgg.sbras.ru; Сейсмологический филиал федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, ведущий геофизик

*Константин Владимирович Федин*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории динамических проблем сейсмологии, тел. (383)333-34-19, e-mail: FedinKV@ipgg.sbras.ru; Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, старший преподаватель кафедры геофизики

Описаны методика и результаты определения по микросейсмам резонансных свойств приповерхностного грунтового слоя на территории геофизической обсерватории «Ключи». С помощью накопления амплитудных спектров большого числа шумовых записей выделены три низших моды стоячих волн сжатия-растяжения в слое, построены карты распределения частот этих мод и коэффициентов усиления колебаний на участке наблюдений относительно эталонной точки на скальной породе.

**Ключевые слова:** верхняя часть разреза, резонансные свойства, упругие стоячие волны, микросейсмы.

## **DETERMINATION OF NEAR SURFACE RESONANT PROPERTIES IN THE TERRITORY OF GEOPHYSICAL OBSERVATORY «KLUCHI» USING MICROTREMOR RECORDS**

*Yury I. Kolesnikov*

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, D. Sc., Principal Research Scientist, Associate Professor, tel. (383)333-31-38, e-mail: KolesnikovYI@ipgg.sbras.ru; Seismological Branch of the Federal Research Center of Unified Geophysical Service RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, Lead Geophysicist

*Konstantin V. Fedin*

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, Ph. D., Research Scientist, tel. (383)333-34-19, e-mail: FedinKV@ipgg.sbras.ru; Novosibirsk State University, 630090, Russia, Novosibirsk, 2 Pirogova St., Senior Teacher of Geophysics Department

We describe the methodology and results of determining resonant properties of the surface soil layer in the territory of geophysical observatory "Kluchi" using microtremor records. Accumulation of a large number of microtremor amplitude spectra enabled to detect three lower modes of compressional standing waves in the layer and to build the maps of mode frequencies and amplification factors in the area of observation relative to the reference point on the hard rock.

**Key words:** near surface, resonant properties, elastic standing waves, microtremor.

Известно, что реакция земной поверхности на землетрясения зависит от локальных геологических условий, которые могут существенно меняться в пределах относительно небольших территорий. Колебания на поверхности мягких осадков могут усиливаться по отношению к скальным породам в десятки и даже сотни раз, как это было, например, во время разрушительного Мексиканского землетрясения 1985-го года ( $M_s = 8.1$ ) [1]. Один из подходов к оценке реакции земной поверхности на возможные сейсмические воздействия основан на анализе микросейсм [2, 3]. Методы, основанные на регистрации микросейсм, относительно дешевы и не требуют больших временных затрат, но, как правило, характеризуются не очень высокой точностью. Кроме того, в большинстве случаев такие методы не предполагают детального анализа частотной зависимости отклика земной поверхности на возможные землетрясения.

В работе [4] на результатах физического моделирования показано, что определять резонансные свойства верхней части разреза (ВЧР) можно простым накоплением амплитудных спектров шумовых записей. При осреднении достаточно большого числа амплитудных спектров относительно коротких интервалов микросейсмических записей на суммарном спектре появляются резкие пики на собственных частотах приповерхностного низкоскоростного слоя, соответствующие семейству стоячих волн, формирующихся в нем под действием микросейсм. Характерной чертой этих пиков является их регулярность, так как собственные частоты низкоскоростного слоя на жестком фундаменте определяются формулой [5]

$$f_n = \frac{(2n-1)V}{4h}, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad (1)$$

где  $V$  – скорость упругих волн (продольных для вертикальных и поперечных для горизонтальных колебаний в слое),  $h$  – мощность слоя.

Для оценки возможностей определения резонансных свойств ВЧР по микросейсмам была проведена регистрация шумовых записей на территории геофизической обсерватории «Ключи», расположенной в 7 км восточнее Академгородка (Новосибирск, Россия). Запись велась одноканальными цифровыми регистраторами Texan (RefTek-125A) с частотой дискретизации 1 кГц. Так как использовались вертикальные геофоны GS-20DX, то целевыми волнами в данном эксперименте были стоячие волны вертикального сжатия-растяжения. Система наблюдений показана на рис. 1. Кроме восемнадцати геофонов, установленных на рыхлых грунтах, одна точка наблюдений (эталонная), относительно которой определялось резонансное усиление колебаний во всех других точках, располагалась на коренных породах в подземном бункере.

На рис. 2 показан пример накопления амплитудных спектров участков шумовых сигналов длительностью примерно по 8.2 с (8192 отсчета) для точки номер 5. Как видно из рисунка, если накопление в течение одних суток еще не приводит к появлению на осредненном спектре каких-либо резких регулярных пиков, то при обработке более длительных записей такие пики появляются, причем их амплитуда с увеличением числа накоплений постепенно растет. При дальнейшем увеличении длительности обрабатываемой записи (более 10 суток)

возрастание амплитуд этих пиков резко замедляется. Закономерность распределения пиков на оси частот для всех точек наблюдения, расположенных на рыхлом грунте, с высокой точностью согласуется с формулой (1), что говорит о резонансной природе этих пиков. В то же время накопление амплитудных спектров микросейсм, записанных на коренных породах в бункере, не приводит к появлению на осредненном спектре каких-либо регулярных пиков.



Рис. 1. Схема системы наблюдений на территории обсерватории; треугольниками показаны места установки сейсмоприемников

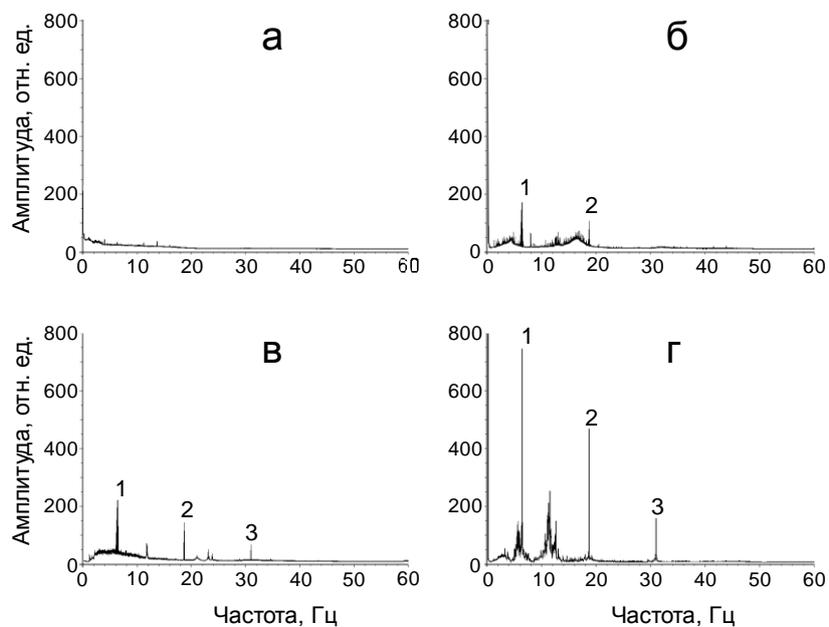


Рис. 2. Результаты накопления амплитудных спектров микросейсм, записанных в точке 5 в течение одних (а), трех (б), пяти (в) и десяти (г) суток; цифрами отмечены номера мод стоячих волн

На рис. 3 приведены карты распределения на площади наблюдений частот первых трех мод стоячих волн сжатия-растяжения в приповерхностном грунтовом слое и соответствующие коэффициенты усиления скоростей вертикальных колебаний на этих частотах, рассчитанные как отношения амплитуд резонансных пиков к амплитудам соответствующих частотных составляющих осредненного спектра микросейсм, записанных на коренных породах в бункере. Карты построены по шумовым данным, записанным в течение 14 суток. Как можно видеть, для всех трех мод карты частот визуально практически идентичны, различаются только шкалы частот. Этого и следовало ожидать, учитывая то, что частоты всех мод стоячих волн, согласно формуле (1), отличаются лишь масштабным коэффициентом  $(2n - 1)$ .

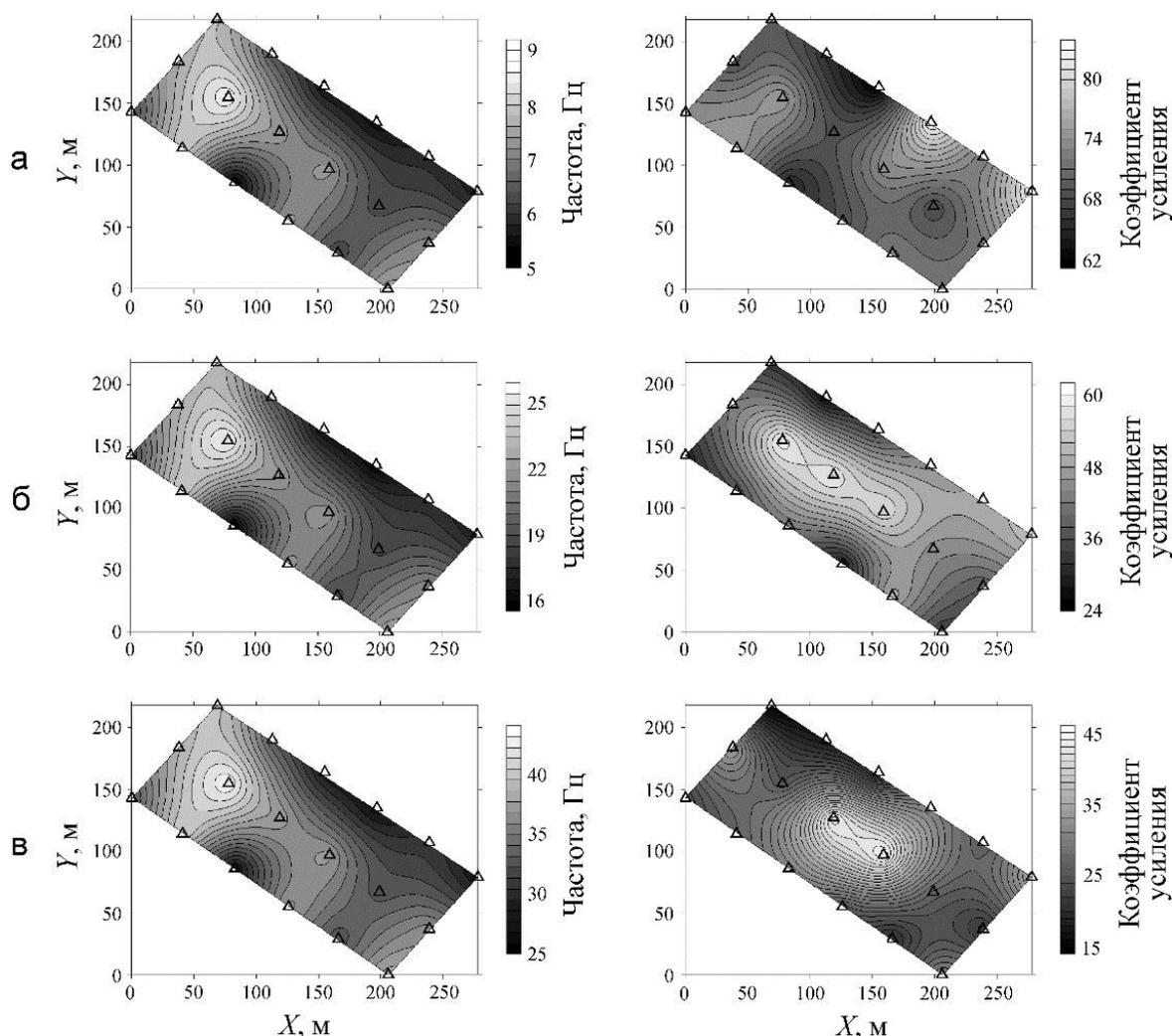


Рис. 3. Карты распределения на площади наблюдений частот первой (а), второй (б) и третьей (в) мод стоячих волн сжатия-растяжения в приповерхностном слое и соответствующие коэффициенты усиления скоростей вертикальных колебаний на этих частотах; треугольниками показаны точки наблюдений

Карты же распределения коэффициентов усиления скоростей вертикальных колебаний для трех низших мод существенно отличаются, причем в среднем при понижении номера моды наблюдается рост этих коэффициентов. Коэффициенты на всей площади имеют достаточно высокие значения, но нужно заметить, что это коэффициенты для вертикальных колебаний земной поверхности, которые, в отличие от горизонтальных колебаний, не являются определяющим фактором в оценке сейсмической опасности территорий. Данные о сдвиговых резонансах в ВЧР в данной работе не рассматриваются, но предварительные оценки говорят о том, что коэффициенты усиления скоростей горизонтальных колебаний для данной площадки в среднем на порядок ниже, чем вертикальных.

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют о перспективности предложенного метода определения резонансных свойств ВЧР по микросейсмам.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Flores-Estrella H., Yussim S., Lomnitz C. Seismic response of the Mexico City Basin: A review of twenty years of research // *Natural Hazards*. – 2007. – Vol. 40, Issue 2. – P. 357–372.
2. Сейсмическое микрорайонирование / под ред. Павлова О.В., Рогожина В.А. – М.: Наука, 1984. – 236 с.
3. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование территорий городов, населенных пунктов и больших строительных площадок. – М.: Наука, 2009. – 350 с.
4. Колесников Ю.И., Федин К.В. Обнаружение подземных пустот по микросейсмам: физическое моделирование // *Технологии сейсморазведки*. – 2015. – № 4. – С. 89–96.
5. Kramer S.L. *Geotechnical earthquake engineering*. – Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall. – 1996. – 653 p.

© Ю. И. Колесников, К. В. Федин, 2017